

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»**

Т.В. Макаренко, Е.В.Воробьева

БОЛЬШОЙ ПРАКТИКУМ: ПОЧВЫ

Практическое пособие по спецкурсу

Гомель 2007

УДК 543 (075.8)
ББК 24.46 я 73
Б 799

Рецензенты:

А.С. Неверов, профессор, доктор технических наук
Ю.А. Пролесковский, доцент, кандидат химических наук

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом учреждения образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины» _____ 200__ года, протокол № __ .

Большой практикум: почвы: Практик. пособие по спецкурсу для студентов биологического факультета / авт.-сост. Макаренко Т.В., Воробьева Е.В.; Мин. образов. РБ, УО «ГГУ им. Ф.Скорины»; – Гомель, 2007.– __ с.

В практическом пособии рассмотрены основные теоретические положения по механическому, химическому составу почв РБ, необходимых для успешного выполнения лабораторных работ по спецкурсу «Большой практикум», которые проводятся с почвами, как объектом исследования. В пособии предложены конкретные методики для определения некоторых важнейших механических и химических показателей почв, подробно описаны принципы отбора и подготовки проб почв для анализа. Пособие адресовано студентам биологического факультета.

УДК 543 (075.8)

ББК 24.46 я 73

© Е.В.Воробьева, Т.В.Макаренко, 2007

© Учреждение образования
«Гомельский государственный
университет имени Франциска
Скорины», 2007

Содержание

Введение.....	4
Тема 1 Механический состав почв.....	5
Тема 2 Химический состав почв.....	43
Тема 3 Агрохимические показатели почв.....	86
Тема 4 Почвенные удобрения.....	135
Литература.....	155

ВВЕДЕНИЕ

При проведении занятий спецкурса «Большой практикум» проводится подготовка студентов к научной работе с биологическими объектами. Важнейшим из таких объектов является почва. Знание основных теоретических основ по генезису, механическому и химическому составу типов почв помогут студентам на более высоком уровне осознать значимость результатов лабораторных работ проводимых с почвами. Результаты полученные в ходе лабораторных исследований дадут возможность оценить состояние исследуемых почв, прогнозировать их плодородие почв, количество вносимых удобрений, сделать выводы о необходимости в известковании почв.

В практическом пособии представлены теоретические основы по механическому и химическому составу почв, а также описаны ее основные агрохимические показатели.

Тема 1 МЕХАНИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОЧВ

- 1 Почвообразующие породы, их минералогический состав
 - 2 Основные типы почв Беларуси и их морфологические особенности
 - 3 Строение почвенного профиля и номенклатура генетических горизонтов
 - 4 Гранулометрический состав почв
- Практическая часть

1 Почвообразующие породы, их минералогический состав

Почвообразующими или материнскими, породами называются поверхностные горизонты горных пород, из которых возникают почвы.

Горные породы, слагающие земную кору, по происхождению подразделяются на: *магматические, осадочные и метаморфические*.

Магматические породы образуются при остывании расплавленной жидкой массы внутри земной коры (глубинные, или интрузивные) или вытекшей в виде лавы на земную поверхность (излившиеся, или эффузивные). Все эти породы имеют кристаллическое строение. При медленном остывании магмы на большой глубине возникают породы из крупных, хорошо различимых кристаллов (например, гранит). При быстром и неравномерном охлаждении магмы (в случае ее выхода на земную поверхность) образуются породы скрытокристаллической или мелкокристаллической структуры с включениями отдельных крупных кристаллов (например, порфиры).

Магматические породы, составляя 95% литосферы, однако, ограниченно распространены в качестве почвообразующих пород и встречаются главным образом в горных областях (Кавказ, Урал).

Осадочные породы образовались на земной поверхности путем выветривания и переотложения продуктов выветривания магматических и метаморфических пород или из отложений остатков различных организмов. Осадочные породы делятся на обломочные, глинистые, породы химического и органического происхождения.

Обломочные или кластические породы представляют собой продукты механического разрушения различных пород. По величине и форме обломков и степени цементации они разделяются на грубообломочные (псефиты), песчаные (псамиты) и алевритовые породы. Грубообломочные породы по размерам и формам составляющих их отдельностей разделяются на несколько групп (таблица 1).

Песчаные породы делятся по сложению на рыхлые (пески) и сцементированные (песчаники), образующиеся в результате цементации песчинок различными веществами (железистыми соединениями, известковыми, кремнистыми и др.).

Таблица 1 – Классификация грубообломочных пород

Величина обломков, в мм	Окатанные		Неокатанные	
	Рыхлые	Сцементированные	Рыхлые	Сцементированные
100-1000 10 - 100 <10	Валуны Галька Гравий	Конгломераты	Глыбы Щебень Хрящ (дресва)	Брекчии

Минералогический состав песчаных пород может быть разнообразным. Среди них выделяют *мономиктовые, олигомиктовые и полимиктовые* разновидности. **Мономиктовые породы** состоят преимущественно из кварца и небольшой примеси других минералов. В **олигомиктовых** 75— 95% минералов представлены кварцем, а остальные — полевыми шпатами и слюдами. **Полимиктовые** представлены кварцем, полевыми шпатами и зернами цветных минералов.

Алевритовые породы, или алевриты, состоят из тонкозернистых частиц размером от 0,1 до 0,01 мм. К ним относятся супеси, суглинки и лёссы. Они занимают промежуточное положение между песками и глинами.

Глинистые породы (пелиты) — это группа осадочных пород, состоящая преимущественно (до 75%) из частиц <0,01мм среди которых преобладают частицы <0,001 мм. Окраска глин зависит от содержания в них тех или иных минералов и примесей.

Плотные, часто очень твердые, глинистые породы, образовавшиеся в результате уплотнения, дегидратации и цементации пластичных глин, называются **аргиллитами**.

Среди осадочных пород химического и органического происхождения выделяют следующие основные группы: карбонатные, кремнистые (диатомиты, трепелы, опоки и кремневые конкреции), сернокислые и галлоидные (гипс, каменная соль и др.), железистые, фосфоритные и каустобиолиты — органогенные горючие породы (торф, угли, нефть и др.). Из осадочных пород химического и органического происхождения важная роль в формировании почвообразующих пород принадлежит карбонатным отложениям. Среди них выделяют известняки, мергели, доломиты и мел.

Метаморфические породы образуются из осадочных и магматических пород в глубоких слоях земной коры под воздействием высокой температуры и большого давления. К ним относятся гнейсы, разнообразные сланцы (глинистые, слюдяные, кремнистые), мраморы (формирующиеся из известняков), кварциты (возникающие из песчаников). Продукты выветривания метаморфических пород редко служат материнскими породами для почв; встречаются они также как и

магматические, преимущественно в горных областях.

Все **горные породы** по их возрасту можно разделить на две большие группы: 1) древние, или коренные, дочетвертичные, преимущественно плотные породы; 2) четвертичные, или современнее, главным образом рыхлые осадочные породы континентального и морского происхождения. Породы первой группы представлены продуктами разрушения магматических, осадочных и метаморфических горных пород различных геологических эпох и периодов. Наиболее широко они распространены в горных районах, а на равнинах встречаются сравнительно редко. Равнинные пространства нашей страны, особенно в пределах европейской части, покрыты более или менее мощным слоем осадочных пород второй группы, на которых почти повсеместно и формируются почвы.

По генезису почвообразующие породы разделяются на следующие основные категории: элювиальные, делювиальные, пролювиальные, аллювиальные озерные, ледниковые, эоловые, морские.

Элювиальными породами или элювием называются продукты выветривания исходных горных пород залегающие на месте своего образования. Современный элювиальный покров часто называют корой выветривания, в применении к которому термины «элювий» и «кора выветривания» употребляются как синонимы. Элювиальные породы наиболее развиты на плоских водораздельных пространствах, то есть там, где процессы денудации не наблюдаются или они сильно ослаблены. На склонах элювий или отсутствует, или крайне слабо развит.

Элювий на рыхлых породах мало отличается по составу и свойствам от исходной породы.

Элювиальные образования на плотных породах однородны по механическому и минералогическому составу. Они обычно содержат различной величины обломки исходных пород. Окраска элювия сильно варьирует и зависит от исходных пород и характера выветривания.

Отличительными признаками элювия являются связь продуктов выветривания с исходной породой и постепенность перехода к ней при наблюдении на вертикальном разрезе.

Делювиальными отложениями или делювием, называются наносы образующиеся на нижних частях склонов в результате смывания дождевыми и снеговыми водами с верхних частей этих склонов и частично водоразделов. Признаками делювия являются слоистость и некоторая сортированность слагающих его механических частиц: крупные оседают выше по склону, наиболее мелкие подножий склона. Могут, однако, встречаться иллювиальные отложения неслоистые и несортированные.

Делювий бывает разнообразного механического состава: песчаного, супесчаного, суглинистого и глинистого. Это зависит от механического состава пород, подвергающихся смыву, и от степени сортировки их делювиальными потоками.

Во всех случаях делювии более мелкозернист, чем исходная порода. Делювиальные отложения часто залегают в форме шлейфов у основания, склона, медленно разрастаясь в ширину, слипаясь с соседними шлейфами и постепенно царапая и поднимаясь вверх по склону, делювий местами достигает водораздела, где смыкается с близким к нему по составу элювием.

В местах, где трудно провести границу между делювием и элювием, их объединяют общим названием элювиально-делювиальные образования.

Пролювиальные отложения. В горных областях временные потоки (селевые) обладают такой силой, что вместе с мелкоземом сносят значительное количество несортированного крупнообломочного материала и отлагают его у подножия гор, в межгорных долинах, в устьях речных долин и овражно-балочных систем, создавая характерные «конусы» или «веера выносов». Отложения, образуемые этими потоками, называются пролювием или пролювиальными отложениями.

Петрографический состав пролювиальных отложений разнообразен. В них могут встречаться обломки пород, принесенные с других территорий. Нередко встречаются смешанные пролювиально-аллювиальные отложения, характеризующиеся неясно выраженной слоистостью с относительно повышенным содержанием илистой фракции в составе мелкозема.

Делювиальные и пролювиальные отложения широко распространены в горных и предгорных областях, в районах с мелкопочечным рельефом (Казахский мелкопочечник и др.) и служат материнской породой для различных почв.

Аллювиальные отложения представляют собой осадки проточных вод или пойменные наносы, отлагаемые при разливе рек. К аллювиальным также относятся донные отложения проточных озер и дельт рек. Все разновидности аллювия различного механического состава отличаются заметной, часто хорошей сортировкой материала по крупности частиц. Нередко среди этих отложений встречаются линзы торфа, включения остатков растительных и животных организмов, пресноводных и наземных моллюсков, иногда кости позвоночных. Аллювиальные отложения отличаются горизонтальной, или косой, слоистостью, связанной с периодичностью наносов. В толще аллювия обычно наблюдаются ржаво-охристые, коричневые, сизые и другие прожилки либо целые прослойки оглеенных или оруденелых горизонтов.

Встречается несколько типов аллювия - русловый, пойменный, старичный. Эти типы аллювиальных отложений проявляются по-разному, в зависимости от гидрологического характера водного потока. В реках равнинных территории развиты все типы аллювия, в горных реках развит русловый аллювий.

Аллювиальные наносы служат материнской породой для различных

пойменных почв, обычно обладающих высоким плодородием.

Озерные отложения выполняют понижения древнего рельефа и отличаются тяжелым механическим составом с большим содержанием илистой фракции. Обычно они имеют горизонтальную или слегка волнистую слоистость. В озерных отложениях постоянно наблюдаются органогенные прослойки (линзы сапропелита и торфа). В некоторых озерах осадки бывают засоленными, оглееными и т. д. Характер озерных образований тесно связан с физико-географическими условиями зоны, в которой находятся озера.

Различают осадки пресноводных озер и осадки солоноватых и засоленных озер. Главное различие между ними заключается в том, что в соленых озерах отлагаются соли и озерные отложения становятся засоленными, химические осадки могут отлагаться и в пресных озерах (карбонаты, лимонит), но засоления озерных осадков не происходит, так как вода озера остается пресной и после их выпадения.

Ледниковые отложения представлены моренами, флювиогляциальными и ледниково-озерными осадками.

Моренами называются отложения рыхлого обломочного материала, перенесенные движущимся ледником.

Морены характеризуются неоднородным механическим составом и состоят из смеси глинистых частиц, песка, гравия, щебня и валунов. Выделяют основные и краевые, или конечные, морены. Первые покрывают бывшее ложе ледника и в областях материкового оледенения распространены на огромных пространствах, достигая иногда мощности нескольких десятков метров.

Среди основной морены различают поверхностную, сформировавшуюся из обломков горных пород, скопившихся на поверхности ледника, внутреннюю, возникшую из пород, находившихся в массе ледника, и донную, образовавшуюся из пород, подстилающих ледник.

Материал поверхностных и внутренних морен мало или совсем не подвергался обработке льдом, и, наоборот, донная морена претерпевала сильное механическое воздействие ледника. Поэтому нижние части основной морены отличаются более тяжелым механическим составом и представлены главным образом валунными глинами.

Конечные морены образуются на окраине ледника при длительной его остановке. Они представляют собой мощные нагромождения в виде разрозненных гряд, валов и холмов.

Часто морены уничтожались эрозией, особенно интенсивной во время массового таяния льда. В этом случае единственным свидетелем оледенения служат эрратические, или блуждающие, валуны, позволяющие установить границы оледенения в прошлом.

По петрографическому составу валунов различают три типа морен: 1)

основную (Фенно-скандинавскую), с валунами из гранитов; 2) местную (локальную), часто карбонатную, с валунами из палеозойских пород (известняков, мергелистых глин, песчаников и др.) и 3) смешанную, с валунами из магматических, метаморфических и осадочных пород.

Количество валунов зависит от характера коренных пород, по которым прошел ледник: в песчаной морене их больше, чем в суглинистой и глинистой; конечная морена изобилует валунами; в основной морене их меньше.

Окраска морены, обусловлена коренными породами и характером выветривания и почвообразования. Для таежно-лесной зоны свойственна красно-бурая и желто-бурая окраска, в лесостепной зоне она становится буро-желтой с белесыми пятнами углекислого кальция и других цветов, в зависимости от состава местных пород.

Водно-ледниковые, или флювиогляциальные, наносы отлагаются в краевой зоне ледников, за пределами последних, из текучих ледниковых вод. Состав их различный (чаще песчаный), в зависимости от состава морены и условий отложения. Вертикальный профиль этих наносов характеризуется косой, или диагональной, слоистостью.

Озерно-ледниковые отложения представлены ленточными глинами и ленточными супесями. Они образовались в приледниковых озерах, заполнявших плоские, часто весьма обширные понижения рельефа. Для них характерна горизонтальная слоистость с ритмическим чередованием тонких песчаных прослоек и более мощных глинистых.

Эоловыми порогами называются наносы, сформировавшиеся в результате отложения частиц, принесенных ветром. В эоловых отложениях преобладают хорошо отсортированные песчаные частицы размером от 0,05 до 0,25 мм. Встречаются и слабо отсортированные пески с неоднородным механическим составом, содержащие 8—10%-частиц крупнее 0,25 мм. Минералогический состав отсортированных песков однороден на больших пространствах, в них преобладает кварц. Минералов, неустойчивых к дроблению и истиранию, немного. Эоловые пески слагают особые формы рельефа (дюны, барханы, бугры).

Морские четвертичные отложения характеризуются ясной горизонтальной слоистостью и хорошей послойной отсортированностью. Механический состав их разнообразен, что связано с условиями выпадения. В прибрежной полосе преобладают песчаные, нередко грубые (галечные) обложения, в отдаленных от береговой линии зонах и в лагунах — глинистые. Морские отложения сильно засолены (например, «шоколадные глины» — отложения Хвалынской трансгрессии Каспийского моря). Они встречаются по побережью Северного «Ледовитого океана, в юго-восточных областях бывшего СССР — в окрестностях Аральского и Каспийского морей; местами выводят на поверхность, и на них образуются почвы засоленного ряда.

Большое распространение и важное значение в качестве почвообразующих пород имеют покровные суглинки и глины, а также лёссы и лёссовидные породы.

Покровные суглинки широко распространены в зоне ледниковых отложений, покрывая морену на водоразделах слоем до нескольких метров. Они не содержат валунов, не слоисты, по механическому составу — тяжелые, средние и легкие пылеватые суглинки, однородного строения, плотные, крупноореховатой и призматической структуры, буро-желтой окраски.

Покровные суглинки могут быть карбонатными и бескарбонатными. К категории покровных пород геологи относят большую группу лёссовидных отложений, имеющих генетическую общность с лёссовыми породами. В эту группу они включают и «сыртовые глины» — глинистые и тяжелосуглинистые обычно карбонатные отложения лёссового характера, образовавшиеся, вероятно, в результате выветривания различных пород,

Лёсс — пористая тонкозернистая карбонатная осадочная пылевато-суглинистая порода, в которой преобладают (50% и более) частицы крупной пыли (0,05—0,01 мм). Илистых частиц немного, а песчаные крупнее 0,25 мм обычно отсутствуют. Большинство частиц, из которых состоит лёсс, представлено обломками кварца, второе место занимают полевые шпаты и слюды, встречаются глинистые минералы (каолинит, монтмориллонит и др.). Лёсс имеет палевый или желто-палевый цвет, обладает высокой пористостью (до 50%). При малой естественной влажности лёсс довольно прочен, о чем говорит его способность сохранять устойчивыми вертикальные откосы высотой 10 м и более. Повышение влажности лёсса сопровождается уменьшением его прочности и образованием просадок, блюдцеобразных понижений глубиной до 2—2,5 м. В толще лёсса, достигающей десятков метров, обнаруживаются погребенные почвы, остатки растений и животных, свидетельствующие об условиях его образования.

Почвообразующие породы оказывают большое, разнообразное влияние на формирование и свойства почв.

Всестороннее их изучение имеет первостепенное значение для определения генезиса и многих существенно важных генетических и агропроизводственных свойств почв.

2 Основные типы почв Беларуси и их морфологические особенности

Территория Беларуси расположена в южнотаежной подзоне хвойно-широколиственных лесов, характеризующейся умеренно теплым климатом. В сочетании с особенностями рельефа и почвообразующих

пород это создает условия для развития дернового, подзолистого и болотного процессов и их сочетаний. В последнее время указывается также на наличие в отдельных районах республики буроземного и солончакового процессов.

В соответствии с процессами почвообразования все почвы республики делятся на:

- дерново-карбонатные,
- бурые лесные,
- подзолистые,
- дерново-подзолистые,
- дерново-подзолистые заболоченные,
- торфяно-болотные (низинные, переходные, верховые),
- пойменные (дерново-болотные и торфяно-болотные).

В свою очередь имеются и подтипы почв в зависимости от степени проявления основного процесса почвообразования, а по характеру почвообразующих и подстилающих пород, строению и механическому составу - роды, виды и разновидности. Всего на территории Беларуси, согласно классификации БелНИИ «Почвоведение и агрохимия», выделено более 1000 разновидностей почв.

Дерново-карбонатные почвы формируются на карбонатных породах, имеют хорошо выраженный перегнойный горизонт, расположенный непосредственно на материнской породе, высокое содержание гумуса (4-6 %). Развиваются в автоморфных условиях при промывном типе водного режима. Выделяют типичные, выщелоченные и оподзоленные дерново-карбонатные почвы, развивающиеся на суглинках, супесях и реже песках. На территории республики они занимают всего около 31 тыс. га, основные массивы расположены в Гомельской и Брестской областях. Почти полностью распаханы, так как характеризуются высоким плодородием.

Бурые лесные почвы в республике встречаются небольшими участками и формируются преимущественно на легких породах, подстилающихся суглинками. Для них характерна слабая дифференциация профиля на горизонты и однотонная бурая окраска. Содержание гумуса до 8-9 %. Заняты преимущественно лесами. Следует отметить, что, согласно В. В. Добровольскому (1977), Ю. А. Ливеровскому (1974), А. А. Роде, В. Н. Смирнову (1972) и другим авторам, бурые лесные почвы развиваются в условиях влажного, мягкого морского климата предгорных равнин под широколиственными лесами. Поэтому они не могут встречаться на равнинах Восточной Европы, имеющих переходный (от морского к континентальному) климат.

Подзолистые почвы образуются под пологом хвойной растительности с моховым покровом при промывном типе водного режима. Отличаются почти полным отсутствием перегнойного горизонта, низким содержанием гумуса с преобладанием в его составе фульвокислот, кислой реакцией

среды и невысокой степени насыщенности основаниями верхних горизонтов. В иллювиальном горизонте отмечено увеличение содержания илстой фракции по сравнению с вышележащими горизонтами. В условиях Беларуси чаще встречаются на хорошо дренируемых участках водоразделов, склонов и надпойменных террас. Они заняты в основном лесными угодьями.

Дерново-подзолистые почвы формируются под воздействием дернового и подзолистого процессов почвообразования, обусловленных сочетанием древесной и луговой растительных формаций. Характеризуются наличием перегнойно-аккумулятивного, подзолистого и иллювиального горизонтов, под которыми с глубины 1,5-2,0 м залегает мало измененная почвообразованием порода. Содержание гумуса в пределах 1,5-3,0 %. Уровень плодородия дерново-подзолистых почв зависит от механического состава слагающих пород и их морфологии. В большинстве случаев они характеризуются повышенной кислотностью, невысоким содержанием питательных веществ. Дерново-подзолистые почвы широко распространены на Беларуси, занимая 63,5 % всей ее территории. На участках, сложенных лессами и лессовидными суглинками, образуются дерново-палево-подзолистые почвы. Они отличаются палевой окраской перегнойного и подзолистого горизонтов. Характеризуются высоким естественным плодородием среди дерново-подзолистых почв Беларуси.

Дерново-подзолистые заболоченные почвы имеют широкое распространение. Они приурочены к понижениям, в которых уровень грунтовых вод находится на значительной глубине. В их формировании участвуют дерновый, подзолистый и болотный почвообразующие процессы. Строение генетического профиля у них такое же, как и у дерново-подзолистых почв, однако в одном или нескольких горизонтах отмечаются признаки заболачивания. По степени заболоченности они делятся на оглеенные внизу, временно избыточно увлажняемые (слабоглееватые), глееватые и глеевые. На территории Беларуси занимают около 28 % пахотных угодий.

Дерновые заболоченные почвы приурочены к понижениям с близким от поверхности уровнем грунтовых вод. Формируются под воздействием двух процессов почвообразования: дернового и болотного. Характеризуются наличием мощного перегнойного горизонта, иногда заторфованного, который сменяется глееватым или чисто глеевым горизонтом. Подзолистый горизонт отсутствует. Содержание гумуса в них может достигать до 8-10 %. Среди дерновых заболоченных почв выделяются: слабоглееватые, глееватые и глеевые. В Беларуси эти почвы занимают около 2 % территории.

Торфяно-болотные почвы образуются в условиях постоянного и избыточного увлажнения грунтовыми, поверхностными или натечными

водами. В результате болотного процесса происходит накопление органического вещества (торфа) и оглеение подстилающей минеральной части почвы. В зависимости от условий залегания и характера водного питания торфяно-болотные почвы делятся на верховые (олиготрофные), низинные (эвтрофные) и переходные (мезотрофные). Болотные почвы низинного типа отличаются высоким потенциальным плодородием, почвы верховых болот имеют кислую реакцию среды, и их использование в сельском хозяйстве ограничено. Низинные болотные почвы более широко представлены на юге Беларуси, верховые - на севере. Торфяно-болотные почвы в республике занимают более 2,9 млн. га, или 14,2 % всей ее площади.

Пойменные (аллювиальные) почвы формируются в условиях речных пойм под воздействием дернового, болотного и аллювиального процессов почвообразования и их сочетаний. Имеют высокое естественное плодородие. Используются в основном под сенокосы и пастбища. Наибольшие их площади расположены в Гомельской, Брестской и Могилевской областях. Пойменные почвы в Беларуси представлены двумя основными группами: дерново-болотными и торфяно-болотными.

Дерново-болотные пойменные почвы составляют свыше 60 % всех пойменных почв в республике (около 650 тыс. га) и включают временно избыточно увлажняемые, глееватые и глеевые почвы. Приурочены в основном к прирусловой и частично к центральной части пойм.

Торфяно-болотные пойменные почвы занимают около 40 % всех пойменных почв в Беларуси (свыше 420 тыс. га). Имеют более высокую степень зольности, богаче азотом, фосфором и некоторыми другими питательными веществами по сравнению с аналогичными внепойменными почвами. На территории Беларуси наибольшее распространение получили торфянисто-перегнойно-глееватые, торфянисто-глеевые, торфяно-глеевые и торфяно-болотные маломощные почвы.

3 Строение почвенного профиля и номенклатура генетических горизонтов

Профили расчленяются на генетически связанные между собой горизонты. В. В. Докучаев предложил обозначать их начальными буквами латинского алфавита: А - гумусово-аккумулятивный; В — вымывания; С — материнская порода.

По мере накопления знаний о почвах номенклатура почвенных горизонтов расширялась и совершенствовалась. Ниже приводятся основные символы (обозначения) почвенных горизонтов:

Ао - лесная подстилка, моховый очес; Ад - дернина (формируется преимущественно под луговой растительностью и представляет собой верхний минеральный слой почвы, густо пронизанный переплетающимися

корнями растений); A_1 – гумусовый горизонт, в котором происходит аккумуляция гумифицированного органического вещества (перегнойно-аккумулятивный); A_p – гумусовый горизонт на пахотных угодьях, сформированный на глубину вспашки; A_t – оторванный гумусовый горизонт; A_2 – подзолистый, элювиальный (вымывания), который располагается под горизонтом A_1 или A_o (в хвойных лесах с сомкнутым пологом) и имеет окраску от белесой, палево-белесой до палевой; B – иллювиальный горизонт (вымывания, накопления) бурого, палево-бурого, красно-бурого цвета в подзолистых и дерново-подзолистых почвах. Если в профиле почвы не наблюдается существенного перемещения различных веществ, горизонт B является переходным от гумусового к материнской породе, как, например, в дерново-карбонатных почвах горизонт B может подразделяться на горизонты B_1 , B_2 , B_3 и т. д. при изменении окраски, гранулометрического состава, сложения и др. В зависимости от характера накапливающихся в горизонте B веществ он может иметь дополнительную индексацию, например: B - иллювиально-глинистый (накопление глины по граням структурных отдельностей, в порах, трещинах и т. д.); B_1 - иллювиально-гумусовый коричневый, кофейно-коричневой окраски; B_k - иллювиально-карбонатный; B_m - метаморфический горизонт, который располагается обычно под гумусовым слоем и в котором непосредственно протекают процессы глинообразования; G – глеевый горизонт, формируется в результате постоянного избыточного увлажнения и характеризуется голубовато-сизой и сизой окраской вследствие значительного накопления закиси железа (FeO). Если оглеение выражено в виде отдельных пятен, горизонт называют глееватым и обозначают буквой g , которая добавляется к основному индексу того горизонта, где оглеение обнаружено (например, A_2g , Bg , Cg): Слабая выраженность признаков оглеения (кратковременное, избыточное увлажнение) обычно в виде пунктации марганца (Mn) и железо-марганцевых ($Fe-Mn$) конкреций во временно избыточно увлажняемых почвах отмечается символом g в скобках, например, $B(g)$.

C – материнская (почвообразующая) порода – не затронутая процессами почвообразования порода, на которой сформировалась почва. В некоторых случаях в ней могут накапливаться карбонаты, протекать процессы оглеения. Материнская порода дерново-подзолистых и дерново-подзолистых заболоченных почв залегает на глубине примерно 1,5-2 м.

D - подстилающая порода - горная порода, которая лежит ниже материнской и отличается от нее литологическим составом. Например, при дву- или трехчленном строении почв порода, где литологическая смена наблюдается за пределами почвенного профиля: покровный суглинок (A_1 , A_2 , B , C), ниже флювиогляциальный песок (D); водноледниковая супесь (A_1 , A_2), моренный суглинок (A_2B_1 , B_2C), древнеаллювиальный песок (D).

T - торфяной горизонт, который может подразделяться на

подгоризонты T_1 , T_2 , T_3 и т. д. в зависимости от ботанического состава и степени разложения торфа. На освоенных торфяниках измененный под влиянием обработки верхний торфяной горизонт обозначается $Tп$. В процессе сельскохозяйственного использования в горизонте $Tп$ усиливается интенсивность микробиологических процессов, приводящих к разложению органического вещества торфа, и торфяной горизонт начинает приобретать черты перегнойно-аккумулятивного горизонта. В этом случае верхний горизонт обозначается $ТАп$ – торфяно-перегнойный горизонт, состоящий из сильно-разложившихся гумифицированных (уже невидимых) растительных остатков, имеющий пылевато-зернистую или комковатую структуру. В переосушенных торфяниках выделяют $ТСП$ – торфяно-минерализованный горизонт, состоящий из интенсивно раздробленных, минерализованных и обугленных растительных остатков, имеющий порошистую или пылевато-порошистую структуру. На мелкозалежных торфяниках может образоваться $ТДП$ – торфяной пахотный горизонт, перемешанный при вспашке с подстилающей породой (торфяно-минеральная смесь).

В профилях пойменных почв выделяются не только генетические горизонты, но и отдельные слои аллювия, которые обозначаются A_{11} , A_{12} и имеют двойную индексацию: на первом месте A_1 , на втором - индекс генетического горизонта – $Ад$, A_1 , A_{12} , $A_{12}Bg$, $A_{13}G$ и др.

Кроме основных обозначений при названии почвенных горизонтов могут использоваться дополнительные символы для отражения таких почвообразовательных процессов, как накопление карбонатов, вивианита, железистых новообразований; K - карбонатный ($Bк$, $Ск$); P - вивианитовый (Gr , Tr); F - железистый (Bf).

Если в чистом виде тот или иной горизонт не имеет четкой выраженности по окраске (неоднородная окраска), выделяются переходные горизонты. Например, A_1 , A_2 - гумусовый оподзоленный, A_2B – подзолисто-иллювиальный.

Этими же символами, но из заглавных букв обозначают горизонты, состоящие целиком из известковых, железистых новообразований или вивианита (K - мергель, Fe - рудяк, P - вивианит).

Антропогенно деградированные, нарушенные и искусственно насыпанные горизонты отмечают следующими символами:

D – деградированный ($Ад$, $Тд$); H – нарушенный ($Ан$); I – искусственный ($Аи$).

Сочетание и последовательность почвенных горизонтов различны для разных типов почв. Так, в профиле дерново-подзолистых почв выделяются горизонты A_0 , A_1 , A_2 , B_1 , (A_2 , B_1), B_2 , B_3 , C ; дерново-подзолистых заболоченных - A_0 , A_1 , A_2 , (g), Bg , (C), Cg . В профиле дерновых, дерновых заболоченных, торфяно-болотных, пойменных дерновых и болотных почв подзолистый горизонт отсутствует. Для дерновых почв характерны

следующие горизонты: A_o, A₁, B, C; дерновых заболоченных – A_o, A₁, B_{1g} или A_o, A₁, B_{1g}, G.

Мощность почвы. При изучении почвы не ограничиваются только верхними горизонтами, а охватывают всю толщу почвенного профиля, включая материнскую (C) и, если она выделяется, подстилающую породу (C₀).

Глубина проникновения почвообразующих процессов полностью зависит от природных факторов почвообразования, поэтому и мощность почвенной толщи в различных условиях почвообразования сильно варьирует (в большинстве случаев от 40 до 150 см). Кроме общей мощности почвенного профиля необходимо определить мощность отдельных почвенных горизонтов в сантиметрах от верхней до нижней границы (например, A_o - 4 см, A₁ - 4-26 см, A₂ - 26-38 см и т. д.).

Окраска почвенных горизонтов. Она служит важнейшим морфологическим признаком, по которому выделяются генетические горизонты в профиле, и самым тесным образом связана с химическим, минералогическим и механическим составом почвы. Выделяют окраску однородную и неоднородную. Однородная окраска может быть равномерной, не изменяющейся в пределах всего горизонта, и неравномерной, если тон и интенсивность окраски постепенно меняются от верхней части горизонта к нижней, например от темно-серой до серой. При неоднородной окраске наблюдается сочетание цветовых пятен, например, в глеевом горизонте на сизом фоне выделяются ржаво-охристые пятна. Описывая горизонты с неоднородной окраской, указывают преобладающий цвет пятен, полос, точек и их происхождение (затеки гумуса, скопление кремнекислоты, окиси или закиси железа и т. д.).

Окраску горизонта необходимо изучать по естественному излому, а не по растертой в порошок почве, ибо при этом окраска меняется. Определять ее следует только при одинаковых условиях освещения, в дневные часы и при одинаковой экспозиции стенок почвенных разрезов. Окраска почвы в значительной степени зависит от ее влажности (например, темно-серая становится светло-серой при высыхании).

В почвах различают четыре основных цвета: черный, белый, красный, синий и ряд промежуточных оттенков.

Каждый основной цвет обусловлен развитием определенного процесса почвообразования, а производные тона показывают интенсивность развития того или иного процесса. Так, черный цвет формируется в почве благодаря дерновому процессу почвообразования, в результате которого накапливается гумус. Установлено, что черная окраска присуща верхним горизонтам почв, содержащим более 10 % гумуса; темно-серая (как промежуточная от черного) соответствует 10-6 %, серая от 5 до 3 %, светло-серая 3-1 %, белая - менее 1 %. Нередко черная, темно-серая окраска гумусового горизонта имеет коричневый или бурый

оттенки, что связано с наличием в гумусовом горизонте гидрата оксида железа $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{OH})_2$, имеющего ржавую или красно-ржавую окраску. В подзолистых и дерново-подзолистых суглинистых и глинистых почвах красно-бурая окраска с разной степенью тональности присуща иллювиальным горизонтам, которые у песчаных почв окрашены в более бледные тона, часто в желтый цвет, что обусловлено, с одной стороны, более интенсивным выносом гидрата оксида железа, а с другой - присутствием лимонита, т. е. гидрата оксида железа с большим количеством молекул воды. Наличие белого цвета в почвах связано с развитием подзолистого процесса почвообразования или присутствием карбонатов. Под пологом хвойного леса накапливается органическое вещество в виде лесной подстилки, состоящей из частично опавшей хвои, содержащей много различных органических кислот. Опавшая хвоя в аэробных условиях подвергается минерализации, вследствие которой высвобождаются большое количество органических активных кислот и ряд минеральных элементов. Наличие в почвах органических агрессивных кислот вызывает разрушение кристаллической решетки минералов, и отдельные элементы, входящие в состав минералов, становятся свободными. На территориях с господствующим промывным водным режимом они легко вымываются из горизонта A_2 (подзолистого) в горизонт В (иллювиальный). За счет этого подзолистый горизонт осветляется, приобретая светло-желтый, палевый, белесый тона. В подзолистом горизонте концентрируются в основном оксиды кремния (SiO_2), каолинит ($\text{Al}_2\text{O}_3 \times 2\text{SiO}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$) или гидрат оксида алюминия ($\text{Al}_2\text{O}_3 \times n\text{H}_2\text{O}$).

В почвах, развивающихся на карбонатных породах (мел, мергель, известняк), чисто белая окраска обусловлена наличием карбонатов кальция (CaCO_3) и магния (MgCO_3).

Присутствие в почвах синего цвета связано с развитием болотного процесса почвообразования, при котором в анаэробных условиях активно протекают восстановительные процессы и накапливается закисное железо FeO (голубого цвета). Образующиеся глеевые горизонты имеют синюю, зеленую, голубую, сизо-голубую окраску в зависимости от количества FeO и гранулометрического состава почвообразующей породы. В торфяно-болотных почвах голубая окраска обусловлена наличием вивианита (фосфорнокислой закиси железа).

Обычно определить окраску почвы одним словом не представляется возможным, поэтому приходится устанавливать преобладающий цвет, указывая степень окраски, оттенок или сочетание двух цветов (название преобладающего цвета ставится на последнее место): светло-серый, красно-бурый и т. д.

Наиболее часто встречаются следующие цвета почв: интенсивно-черный, черный, серовато-черный, серо-черный, буровато-черный, буро-

черный, темно-серый, серый, светло-серый, белесо-серый, буровато-серый, сизовато-серый, сизый (голубовато-серый), желтый, буровато-желтый, ржаво-охристый, охристо-желтый, лимонно-желтый, красный, бурокрасный, ржаво-красный, черно-бурый, темно-бурый, светло-бурый, красновато-бурый, желто-бурый, палево-бурый, палевый, светло-палевый, белесо-палевый.

Трудность установления окраски почвы по отдельным горизонтам усложняется тем, что она очень часто бывает неоднородной. Эта неоднородность обусловлена присутствием разных химических веществ и компонентов, не свойственных тому или иному горизонту почв. Так, в перегнойном пахотном горизонте наблюдается светлоокрашенная пятнистость, вследствие припахивания белесого подзолистого горизонта. В подзолистом горизонте нередко присутствуют гумусовые коричневатосерые или светло-серые пятна, затеки. В иллювиальном горизонте обычно имеются пятна, затеки, горизонтальные прослойки оподзоленности. В заболоченных почвах иллювиальный горизонт может иметь сложную пятнистую или так называемую мраморовидную окраску вследствие присутствия желтых, оранжевых, ржаво-бурых пятен и прожилок, которые чередуются с пятнами, затеками и прожилками закиси железа синеватых, голубоватых, белесо-сизых, белесо-голубых, зеленоватых оттенков. В этих случаях следует перед названием окраски обязательно отметить пятнистость, мозаичность, пестроту, а затем указать преобладающую окраску.

При определении окраски того или иного горизонта почв дерново-подзолистой зоны часто приходится употреблять несколько названий цветов, тональностей, что является затруднительным для тех, кто незнаком с теорией смешения цветов. Ниже приводятся некоторые правила:

1. Нельзя закрашивать сначала темным (черным или коричневым) карандашом, а затем поверх - светлым (желтым), так как желтый цвет не ложится на черный, темно-серый, коричневый, а также красный, синий.

2. Гумусовый горизонт почв дерново-подзолистой зоны чаще всего имеет светло-серый, реже темно-серый и черный цвет. Передавать эти цвета следует черным карандашом, применяя при этом определенный нажим. Чем светлее окраска, тем слабее должен быть нажим карандаша, и наоборот.

3. Если перегнойный горизонт имеет темно-серую, серую или светло-серую окраску, но с коричневым оттенком, то сначала закрашивают коричневым карандашом (делая соответствующий оттеноку нажим), а затем поверх его закрашивают черным карандашом.

4. Подзолистый горизонт, особенно глинистого и суглинистого состава, преимущественно имеет белесый, серовато-белесый, иногда белесо-желтый цвет. Поэтому рекомендуется этот горизонт совсем не закрашивать или слегка подкрасить серым или желтым цветом.

5. Иллювиальный горизонт суглинистых и глинистых почв имеет буро-красный, буро-коричневый или буровато-красновато-коричневый цвета. Поэтому этот горизонт следует сначала закрашивать красным цветом, а поверх его - коричневым карандашом.

6. Белесые, белые, белесо-палевые пятна и потеки в иллювиальных горизонтах лучше не закрашивать или же слегка можно затушевать места пятен бумажным тампоном.

7. Глеевые или иллювиальные горизонты, имеющие голубовато-белесую, голубовато-сизую, голубовато-зеленоватую окраску, закрашиваются голубым или синим карандашом, причем или сплошь, или отдельными пятнами, отвечающими натуре, при этом соблюдается конфигурация пятен.

8. Если в подзолистом горизонте присутствуют гумусовые пятна и потеки серого, темно-серого или коричнево-серого цветов, то их передают на рисунке черным или коричневым карандашом при соответствующем нажиме согласно тональности натуральной почвы.

9. Зарисовывая почвы, следует знать, что движение карандашей должно быть только в вертикальном направлении. В горизонтальном направлении закрашиваются почвы аллювиального типа.

4 Гранулометрический состав почв

Под гранулометрическим составом следует понимать относительное содержание в почве частиц различного размера независимо от их минералогического и химического состава. Он является важнейшей морфологической характеристикой почвы. Гранулометрическим составом во многом определяются интенсивность и характер почвообразовательных процессов, физические и химические свойства почв, условия обработки, дозы удобрений, сроки сельскохозяйственных работ. Велико его влияние на формирование генетического профиля почвы.

Твердая фаза почвы состоит из частиц разного размера, или гранулометрических элементов. Частицы, близкие по размерам, объединяют во фракции (табл. 2).

Таблица 2 – Классификация гранулометрических элементов по размеру

Название фракций	Размер гранулометрических элементов; мм
Камни	Более 3
Гравий	3–1
Песок крупный	1–0,5
Песок средний	0,5–0,25
Песок мелкий	0,25–0,05
Пыль крупная	0,05–0,01
Пыль средняя	0,01–0,005
Пыль мелкая	0,005–0,001
Ил грубый	0,001–0,0005
Ил тонкий	0,0005–0,0001
Коллоиды	Менее 0,0001

Классификация почв по гранулометрическому составу производится по соотношению двух фракций — физической глины (куда условно относятся частицы $< 0,01$ мм) и физического песка (частиц крупнее $0,01$ мм). Дополнительная характеристика дается по соотношению между песчаной ($> 0,05$ мм), крупнопылевой ($0,05-0,01$), пылевой ($0,01-0,001$) и иловой ($< 0,001$ мм) фракциями. Если в почве в большом количестве содержатся две какие-либо фракции, то дополнительное название будет двойным (например, глина средняя пылево-иловатая). На последнем месте ставится наиболее распространенная фракция (табл. 3).

Таблица 3 – Классификация почвообразующих пород по гранулометрическому составу

Название пород	Содержание физической глины (частицы $< 0,01$ мм), %	Содержание физического песка (частицы $> 0,01$ мм), %	Дополнительная характеристика по преобладающим фракциям
Рыхлые пески	0–5	100–95	Мелкозернистые, среднезернистые, гравийно-хрящеватые
Связные пески	5–10	95–90	Пылеватые, мелкозернистые, среднезернистые, гравийно-хрящеватые
Рыхлые супеси	10–15	90–85	Пылеватые, пылево-песчанистые, песчанистые, гравийно-хрящеватые
Связные супеси	15–20	85–80	
Легкие суглинки	20–30	80–70	Пылеватые, пылево-песчанистые, песчанистые, пылево-иловатые
Средние суглинки	30–40	70–60	
Тяжелые суглинки	40–50	60–50	
Легкие глины	50–65	50–35	Иловатые, пылеватые, песчанистые
Средние глины	65–80	35–20	
Тяжелые глины	Более 80	Менее 20	

Точные определения гранулометрического состава производятся на основании лабораторного анализа. В полевых условиях гранулометрический состав почвы определяют упрощенными способами: «органолептическим» - методом скатывания между пальцами, сухим (метод «зеркала») и мокрым растиранием. Определение может быть кратким (с учетом содержания физического песка и физической глины) и подробным (с учетом дополнительной характеристики по преобладающей фракции). Упрощенные полевые методы при наличии навыка и тщательном выполнении дают результаты, близкие к полученным в лаборатории с помощью приборов.

В полевых условиях помимо сухого и мокрого растирания для

определения гранулометрического состава применяют метод скатывания шнура, скатывания шарика, пробу ножом по стенке разреза, а на пахотных угодьях - по структурности пашни.

Ниже приводится описание техники выполнения этих методов.

1. Сухое растирание (метод «зеркала»). Небольшой комочек воздушно-сухой почвы (размером с горошину) растирают пальцами и высыпают на сухую ладонь. Почву втирают указательным пальцем в кожу, затем ладонь переворачивают и слегка встряхивают. На ладони остается так называемое «зеркало» за счет оставшихся в бороздках и порах кожи наиболее мелких частиц (фракции физической глины). По «зеркалу» определяют гранулометрический состав почвы.

Рыхлые пески «зеркала» почти не дают; у связных песков оно слабое, редкое, но все же ясно заметное; у супесей - ясно заметное, но прерывистое; у легких суглинков - хорошее, почти сплошное и у средних суглинков - сплошное «зеркало». Более тяжелые по составу почвы трудно растирать пальцем в сухом состоянии. Обычно они имеют хорошо выраженную микроструктуру и поэтому могут показаться опесчаненными и даже дать прерывистое «зеркало», что ошибочно укажет на более легкий гранулометрический состав.

Методом сухого растирания хорошо определять гранулометрический состав лишь песчаных, супесчаных и легкосуглинистых почв. С его помощью можно дать и дополнительную характеристику гранулометрического состава. Пылеватые почвы и породы при растирании дают ощущение мягкости или «бархатистости»; песчанистые - жесткости, шероховатости; пылевато-песчанистые - мягкости, но и явного присутствия песчинок (более трех).

2. Мокрое растирание. Небольшую щепотку почвы смачивают водой и растирают на ладони. Рыхлые пески не оставляют почти никакого следа, связные - слегка загрязняют ладонь; супеси загрязняют ладонь сильнее; легкие и средние суглинки почти сплошь замазывают кожу, а тяжелые - сплошь; глины дают однородную мажущуюся массу.

3. Скатывание шнура (по Н. А. Качинскому). Почву смачивают и разминают пальцами до консистенции теста. В таком состоянии вода не отжимается, а почва блестит и мажется. Хорошо размятую почву раскатывают между ладонями и шнур сворачивают в колечко (толщина шнура около 3 мм, диаметр кольца около 3 см) (рис. 1). Пески не образуют шнура; супеси дают зачатки шнура; у легких суглинков шнур образуется, но распадается на дольки; средние суглинки дают сплошной шнур, но при свертывании в кольцо он разламывается на дольки; шнур образуется сплошной, но при свертывании в кольцо трескается - тяжелый суглинок; глины дают сплошной шнур, который свертывается в кольцо, не трескаясь.

Сильнокарбонатные почвы следует смачивать не водой, а 8-10 %-ной соляной кислотой для разрушения почвенной микроструктуры.

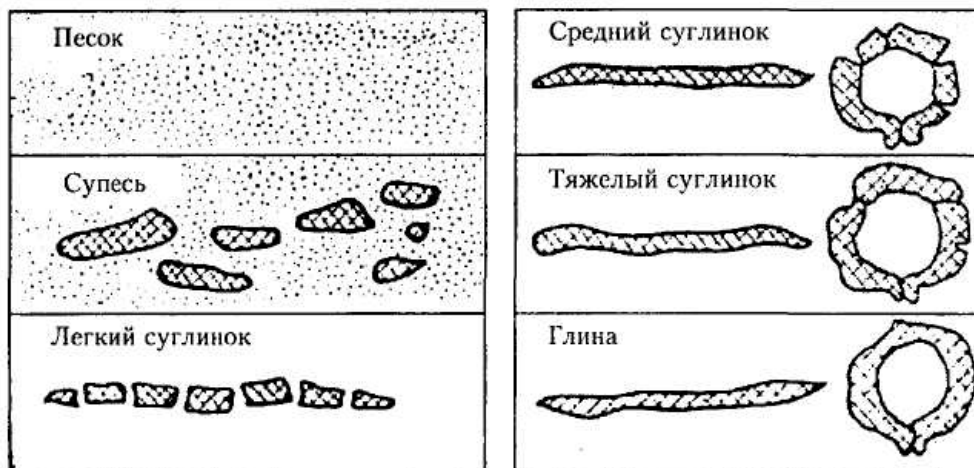


Рис. 1. Определение механического состава почвы (по Н. А. Качинскому)

4. Скатывание шарика. Из сырой или смоченной размятой почвы скатывают шарик диаметром 2-3 см, который затем расплющивают в тонкую лепешку. У рыхлых песков шарик не образуется; у связных песков - легко крошится; у супесей - имеет шероховатую поверхность и при расплющивании распадается на куски; у суглинков - гладкую поверхность, при расплющивании глубоко растрескивается по краям; у глинистых - блестящую поверхность, причем у легкоглинистых - при расплющивании лепешка с незначительными трещинами по краям, а у средне- и тяжелоглинистых - без трещин.

5. Проба ножом. Лезвием ножа делают черту и срез почвы. Черта осыпается, поверхность среза шероховатая, иод ножом слышен треск - песчаная почва; черта с разорванными краями от выпавших песчинок, поверхность среза шероховатая - супесчаная; черта ровная, шире лезвия ножа, поверхность среза ровная, матовая, под ножом треска не слышно - суглинистая; черта узкая, равна по ширине лезвию, срез гладкий, блестящий - глинистая почва.

6. Определение механического состава почвы по структурности пашни. Почвы разного гранулометрического состава обладают различной способностью образовывать структурные агрегаты. Наблюдая структурность недавно обработанных (заборонованных) участков, можно заметить, что рыхлопесчаные почвы состоят из раздельночастичной бесструктурной массы, связнопесчаные - имеют на поверхности отдельные комки, у рыхлопесчаных - комки занимают менее $1/3$ поверхности, у связносупесчаных — до $1/2$, у легкосуглинистых - около $3/4$, у среднесуглинистых - вся поверхность покрыта комками размером от голубиноного до куриного яйца, у тяжелосуглинистых и глинистых - комки покрывают всю поверхность и среди них встречаются глыбы до 10 и более сантиметров.

Для удобства использования полевых методов определения гранулометрического состава все качественные характеристики их сведены в табл. 4.

Таблица 4 – Полевые методы определения гранулометрического состава почв

Состав почвы, содержание физической глины, %	Сухое растирание, или «зеркало»	Мокрое растирание	Скатывание шнура	Скатывание шарика	Проба ножом	По структурности пашины
Рыхлый песок (0–5)	Не дает	Не оставляет почти никакого следа	Не образует	Не образует	Черта осыпается, поверхность среза шероховатая, слышен треск	Раздельно-частичная бесструктурная масса
Связный песок (5–10)	Слабое, редкое, но ясно заметное	Слегка загрязняет ладонь	Не образует	Легко крошится	-//-	Отдельные комочки
Рыхлая супесь (10–15)	Ясно заметное, но прерывистое	Загрязняет ладонь сильнее	Дает зачатки	Шероховатая поверхность, при расплющивании распадается на куски	Черта с разорванными краями, срез шероховатый	Комки занимают до 30 % поверхности
Связная супесь (15–20)	-//-	-//-	-//-	-//-	-//-	Комки на 50 % поверхности
Легкий суглинок (20–30)	Хорошее, почти сплошное	Почти сплошь замазывает ладонь	Шнур образуется, но раскалывается на дольки	Гладкая поверхность, при расплющивании глубоко растрескивается по краям	Черта ровная, шире лезвия ножа, поверхность среза ровная, матовая, нет треска	Комки на 75 % поверхности
Средний суглинок (30–40)	Сплошное	-//-	Сплошной шнур, кольцо разламывается на дольки	-//-	-//-	Вся поверхность, комки размером от голубиноного до куриного яйца
Тяжелый суглинок (40–50)	Трудно растереть пальцем в сухом состоянии	Густо замазывает ладонь, хотя и включает песчинки	Шнур сплошной, кольцо трескается	-//-	-//-	Вся поверхность, среди них встречаются глыбы (до 10 см и более)
Легкая глина (50–65)	-//-	Дает однородную мажущую массу	Сплошной шнур, кольцо не трескается	Блестящая поверхность шарика, лепешка с незначительными трещинами по краям	Черта узкая, срез гладкий, блестящий	-//-
Средняя глина (65–80)	-//-	-//-	-//-	Без трещин	-//-	-//-
Тяжелая глина (более 80)	-//-	-//-	-//-	-//-	-//-	-//-

Характеристика морфологических признаков отдельных генетических горизонтов заканчивается описанием границ между горизонтами. Отмечается характер перехода одного генетического горизонта в другой, форма границ и степень их выраженности, которые зависят от интенсивности и направленности процессов почвообразования.

Выделяются 4 вида по степени выраженности перехода и 7 основных типов границ между почвенными горизонтами (табл. 5,6).

Таблица 5 – Виды перехода почвенных горизонтов

Виды перехода	Степень выраженности перехода
Резкий	Граница между горизонтами при любой ее форме четкая и может быть выделена в пределах 1 см
Ясный	Граница между горизонтами четкая и может быть выделена на стенке разреза в пределах 1–3 см
Заметный	Переход между горизонтами с границей любой формы в пределах 3–5 см
Постепенный	Граница может быть выделена при смене горизонтов с неопределенностью более 5 см

Таблица 6 – Формы границ почвенных горизонтов

Формы границ	Степень выраженности границы
Ровная	Свойственна почвам со слабой дифференциацией профиля по горизонтам без колебаний по вертикали
Волнистая 	Отношение амплитуды к длине волны менее 0,5; бывает у гумусового горизонта лесных почв или у подгоризонтов одного и того же горизонта
Карманная 	Отношение глубины к ширине затеков (карманов) от 0,5 до 2; характерна при слабом проявлении элювиальных процессов
Языковатая 	Отношение глубины языков к их ширине колеблется в пределах 25; может быть мелко – (до 5 см) и глубокоязыковатой (более 10 см); чаще встречается в нижней части элювиальных горизонтов
Затечная 	Отношение глубины затеков к их ширине превышает 5, например, затеки гумуса по ходам корней или ходам землероев
Размытая или «изъеденная» 	Граница лежит в пределах какого-то слоя, выделяемого как переходный горизонт; характерна для почв с сильно выраженным элювиальным процессом, например, переходный горизонт A ₂ B в сильнооподзоленных почвах может представлять собой широкую границу
Пильчатая 	Мало отличается от волнистой, характеризуется наличием острых «зубьев»-углов; встречается довольно редко, например, в подзолистых почвах на структурных глинах

Название почвы. Составление названия почвы - один из наиболее ответственных этапов полевых исследований. Техника составления заключается в следующем. Сначала определяется тип почвы (по процессам почвообразования), затем указывается степень проявления этих процессов (слабо-, средне-, сильнооподзоленные для подзолистых и дерново-подзолистых почв; глееватые и глеевые - для дерновых и дерново-подзолистых заболоченных почв). Например, слабооподзоленная почва характеризуется отсутствием четко выраженного горизонта A_2 , подзолистый горизонт выражен или в виде отдельных пятен, или в виде переходного подзолисто-иллювиального A_2B1 (рис. 8). Гумусовый горизонт хорошо развит. В среднеоподзоленных почвах подзолистый горизонт хорошо выражен по цвету, однако его мощность меньше, чем горизонта A_1 ($A_1 > A_2$). В случае резко выраженного подзолистого горизонта, мощность которого превышает мощность горизонта L , почву следует относить к сильнооподзоленным ($A_2 > A_1$). Глееватые почвы характеризуются наличием горизонта Bg ; если в профиле выделяется горизонт G , почва относится к глеевым.

В пахотных дерново-подзолистых почвах обычно установить степень оподзоленности не представляется возможным, так как подзолистый горизонт вовлечен частично или полностью в пахотный. В связи с этим на пахотных угодьях вместо степени оподзоленности указывают степень окультуренности. Выделяют следующие варианты окультуренных почв: слабоокультуренные - маломощный пахотный слой менее 20 см, имеют ясно выраженный подзолистый горизонт, местами резко выражены следы эрозийных процессов в виде смытых пятен (участков), рытвин и т. п.; среднеокультуренные - мощность пахотного слоя около 20 см, под ним заметны следы подзолистого горизонта, местами ясно заметны признаки эрозийных процессов; культурные - мощность пахотного слоя более 20 см, отсутствуют признаки подзолистого горизонта и эрозии.

Далее необходимо учесть гранулометрический состав почвообразующих и подстилающих пород. Если почва имеет одночленное строение, то в названии почвы можно использовать термин «мощный», чтобы подчеркнуть однородность почвообразующей породы по всему профилю. Например, «дерново-подзолистая почва, развивающаяся на мощных лессовидных суглинках». Иногда при одночленном строении почвы в результате окультуривания и природных процессов происходят незначительные изменения гранулометрического состава: например, горизонт $A1$ представлен связным песком, нижележащие горизонты - рыхлым. В этом случае в полном названии почвы вместо слова «мощный» применяют слово «переходящий». Например, «почва дерново-подзолистая слабооподзоленная, развивающаяся на связных песках, переходящих на глубине в рыхлые».

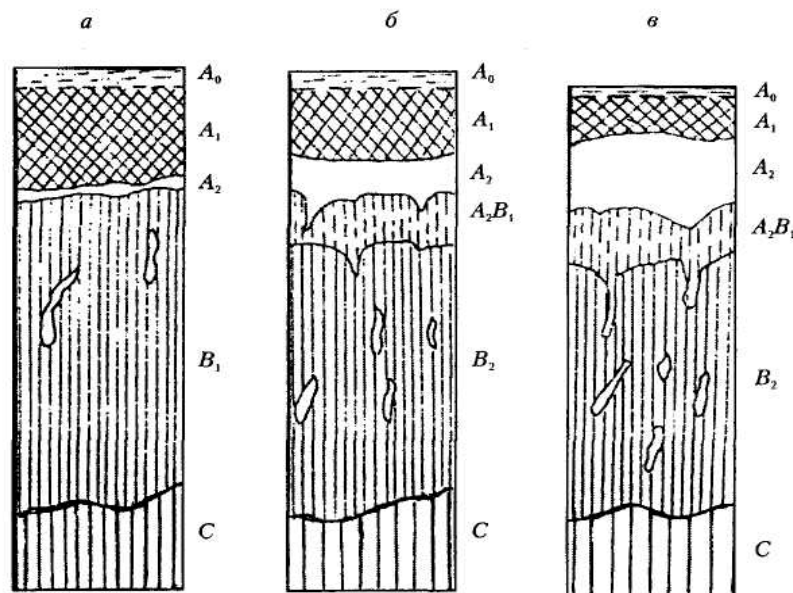


Рис. 2.—

В случае дву-, трехчленного строения почвы в названии указывают, с какой глубины одна порода сменяется другой. Например, «почва дерново-подзолисто-глееватая, развивающаяся на связной супеси, сменяемой на глубине 42 см средним суглинком». Если выделяется подстилаящая порода (*D*), то после определения типа, подтипа, гранулометрического состава горизонтов, слагающих почвенный профиль, указывается подстиление почвы. Например, «почва дерново-подзолистая среднеподзоленная, развивающаяся на связной супеси, сменяемой на глубине 58 см легким суглинком, переходящим на глубине 94 см в тяжелый суглинок, подстилаемая с глубины 148 см рыхлым песком».

Если не требуется детальное название почвы, то его можно давать в случае дву- или трехчленного строения почвы по упрощенной схеме: например, «почва, развивающаяся на рыхлой супеси, подстилаемой на глубине 76 см песком», т. е. указывать подстиление одной породы другой. Однако в этом случае нельзя писать: «почва подстилаемая», ибо смена пород (подстиление одной породы другой) произошла в пределах почвенного профиля. Термин «подстилаемая почва» может использоваться только в случае смены пород ниже горизонта *C* и выделения горизонта *D*.

При названии торфяно-болотных почв учитывается прежде всего подразделение на типы (низинный, верховой). Дальнейшая классификация проводится по мощности органогенного горизонта: торфянисто-глеевые (менее 30 см); торфяно-глеевые (30-50 см); торфяные маломощные (50-100 см); торфяные среднемощные (100-200 см); торфяные мощные (более 200 см).

При названии конкретной разновидности торфяно-болотной почвы помимо мощности торфа учитывается ботанический состав, степень

разложения торфа, характер подстилающей породы. Например, «торфянисто-глеевая почва низинного типа, развивающаяся на среднеразложившемся древесно-осоковом торфе, подстилаемом среднезернистым песком».

Если имеет место эрозия почвы (смыв, развевание) или намыв породы, это также отражается в названии. Эродированные почвы (со смытым верхом, дефлированные) разделяют на: слабосмытые, слабодефлированные, у которых пахотный горизонт смыт, выдут частично, имеет светло-бурую с белесоватым оттенком окраску за счет припахивания подзолистого горизонта; среднесмытые, среднедефлированные - пахотный горизонт полностью смыт, выдут, распахивается подзолистый горизонт и частично припахивается иллювиальный, окраска горизонта светло-серая с буроватым оттенком; сильносмытые, сильнодефлированные - пахотный и подзолистый горизонты смыты и выдуты, распахивается иллювиальный горизонт, верхний горизонт почвы имеет красно-бурый цвет; весьма сильносмытые, дефлированные - смыты, выдуты пахотный, подзолистый и частично иллювиальный горизонты, распахивается оставшаяся часть иллювиального и подстилающая порода, пахотный горизонт имеет буро-желтую окраску.

По мощности намытого слоя почвы делятся на: а) слабонамытые (*Ad* до 20 см), б) средненамытые (*Ad* 20-50 см), в) сильнонамытые (*Ad* 50-100 см). По цвету и строению намытый слой напоминает перегнойный горизонт несмытых почв.

Определение некоторых химических соединений в почве. При полевом исследовании почвы наряду с изучением морфологических признаков возможно выполнение некоторых несложных химических анализов. Обычно определяется реакция почвенного раствора и наличие карбонатов.

Определять кислотность pH удобнее всего с помощью универсального индикатора. Для этого в пробирку насыпают немного почвы, приливают по объему в два раза больше нормального раствора хлористого калия, взбалтывают и дают отстояться. Затем пипеткой берут часть раствора в фарфоровую чашечку, добавляют 2—3 капли индикатора, размешивают и сравнивают полученную окраску со стандартной шкалой. Точность метода в пределах 0,25-0,50 pH.

Определение карбонатов (CaCO_3 , MgCO_3) в поле производится при помощи 10 %-ной соляной кислоты следующим образом. С боковой стенки разреза, начиная с самого дна, ножом или лопатой берут небольшое количество почвы и капают на нее 10% -ной соляной кислотой. Обнаружив вскипание, отмечают глубину в нескольких местах (линия вскипания часто бывает извилистой или прерывистой) и интенсивность вскипания: бурное, сильное, слабое. Результаты анализа фиксируют в полевом журнале. На зарисовке почвенного разреза вдоль правой стороны рамки красной

линией, сплошной или прерывистой в зависимости от характера вскипания, показывают его глубину.

После тщательного изучения почвенного разреза в полевом журнале описывают морфологические признаки и определенные в поле химические свойства почвы, цветными карандашами зарисовывают почвенный разрез. Ширина рамки для зарисовки обычно 3 см, вертикальный масштаб (показывается с левой стороны рисунка) 1:10 (иногда 1:20). На рисунке обязательно отображаются включения, новообразования, пятнистость, слоистость и т. п. После зарисовки намечают и записывают глубины взятия образцов по генетическим горизонтам. Затем указывают название почвы: тип, подтип, род, вид, разновидность и разряд; дают краткую агропроизводственную характеристику и перечисляют мероприятия, необходимые для повышения плодородия почвы. После отбора образцов разрез тщательно закапывают.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основные правила подготовки образцов почв к анализу

В зависимости от цели лабораторного анализа образцы почвы, отобранные в поле, могут иметь вес до 1-2 кг. Те, которые доставлены оттуда, сразу просушиваются до воздушно-сухого состояния, поскольку в непросушенных образцах интенсивно развиваются микробиологические процессы, которые могут повлиять на их химический состав. Однако при определении капиллярной влагоемкости почвы, содержания в ней аммиака, нитратов, доступных растениям калия, фосфора, подвижного алюминия целесообразнее использовать образцы почв при исходной влажности. В обоих случаях результаты анализа пересчитывают на сухую почву. Образцы сушат в хорошо проветриваемой комнате на развернутом листе бумаги, часто перемешивая их. Для этих целей имеются также типовые сушилки. При механической обработке почвенных образцов используют измельчитель (ИПП-2), дробилку (ИПП-1) или мельницу (МПЛ-1), при ручной - их растирают в фарфоровой ступке пестиком. После измельчения почвенной пробы ее перемешивают усреднителем проб (ППЛ-1). Фракционирование пробы проводится почвенными ситами (ТУ 46-47-885-73). Часть образца (200-500 г) оставляют ненарушенной для механического и агрегатного анализов. Для агрохимических анализов берут образцы почв, просеянные через сито с отверстием 2 мм, и вместе с этикеткой помещают в картонную коробку или стеклянную банку с притертой пробкой.

Перемешивают почвенные суспензии лабораторными мешалками (МЛ-2104, МЛ-10) или ротатором (Р-120). Для взмучивания и отстаивания их используется отстойник (ОД-101). Принудительное фильтрование может быть выполнено приборами ГР-60, УФ-1, ПМФС-10.

Контроль за качеством анализа. В агрохимических лабораториях проводят контрольное определение 10 % проб от общего количества анализируемых образцов. Для научных целей все анализы выполняют в 3-кратной, при методических исследованиях - в 5-10-кратной повторности.

Относительная ошибка определяется по следующей формуле:

$$P = \frac{(M - M_i) \cdot 100}{M}.$$

Точность любого анализа устанавливают после проведения не менее трех определений из одного образца:

$$P_r = \frac{m \cdot 100}{M}.$$

где M - средняя арифметическая величина; M_i - индивидуальный показатель каждого отдельного определения; m - ошибка средней арифметической.

Методы лабораторных исследований гранулометрического состава и физических свойств почв

Механический анализ почвы. Задача гранулометрического анализа почвы состоит в выделении из почвы фракций механических элементов и определении их процентного содержания.

Для анализа скелетной части почвы применяется *метод просеивания почвы на ситах*. С этой целью в полевых условиях отбирают пробу почвы весом 1-2 кг, доводят ее до воздушно-сухого состояния и берут среднюю пробу (300-500 г) для анализа, которую осторожно растирают пестиком с резиновым наконечником, затем просеивают через сито с диаметром отверстий 1 мм. Не прошедшую через сито почву вновь осторожно растирают и просеивают, повторяя этот процесс до тех пор, пока на сите не останется лишь скелет почвы (частицы крупнее 1 мм). Его взвешивают и определяют процентное содержание.

Просеянную почву (мелкозем) собирают в склянку с притертой пробкой или картонную коробку. Для дальнейшего анализа используют один из методов, изложенных ниже.

Оставшуюся на сите почву переносят в фарфоровую чашку и тщательно отмывают от приставших частиц мелкозема под струей из водопровода. Отмытый скелет почвы высушивают в термостате при

$$X = a \cdot 100/M,$$

температуре 105 °С, взвешивают и разделяют на фракции с помощью набора сит с диаметром отверстий 10, 7, 5, 3 и 1 мм. Фракции также взвешивают и

вычисляют их процентное содержание по формуле:

где a - вес сухих механических элементов, собранных из сит, г; M - вес средней пробы почвы, взятой для анализа и пересчитанной на сухую почву в граммах по формуле:

$$M = M_{100/100} + W_g,$$

где M - вес воздушно-сухой средней пробы, г;

W_g - гигроскопическая влага в процентах к весу сухой почвы.

Для дальнейшего разделения мелкозема на фракции применяют основанные на принципе падения частиц в воде методы механического анализа. Наиболее старым из этих методов является *метод декантации*, или *метод Сабанина*, сущность которого сводится к следующему. Почвенная суспензия, приготовленная взбалтыванием навески почвы в определенном объеме воды, наливается в цилиндрический сосуд до определенной высоты, хорошо размешивается и отстаивается в течение определенного времени. После этого слой суспензии, содержащий неосевшие частицы (радиус которых меньше величины, получаемой по уравнению Стокса), отсасывается сифоном или сливается. Повторяя эту операцию несколько раз до полного осветления слоя жидкости над осадком, отделяют частицы определенной фракции. Меняя высоту слоя суспензии в цилиндре и время осаждения, делят суспензию на необходимое число фракций, которые собирают, высушивают, после чего вычисляют (в процентах) их содержание.

Метод декантации весьма трудоемкий и продолжительный по времени и применялся для определения гранулометрического состава легких (песчаных и супесчаных) почв, в которых содержание физической глины незначительно, а илистой фракции минимально. В настоящее время существуют более прогрессивные методы, позволяющие избежать полного разделения фракций путем многократного отбора почвенной суспензии.

Метод пипетки (модификация Н. А. Качинского). Этот метод получил широкое распространение как основной для массовых механических анализов. Сущность его состоит в том, что вместо полного отделения друг от друга механических фракций здесь производится взятие только небольших проб суспензии через определенное время и с определенной глубины цилиндра с помощью специальной пипетки. Взятые пробы высушивают и взвешивают. Вес пробы пересчитывают на весь объем суспензии и выражают в процентах к взятой навеске почвы.

Для анализа берут навеску почвы 10 г, пропущенной через сито с отверстиями 1 мм, затем одновременно еще две навески: для определения гигроскопической влаги 4-5 г и для определения потери растворимых веществ от обработки HCl 10-15 г. Предварительно проводят испытание почвы на содержание карбонатов, для чего ее обрабатывают 10 %-ной HCl. Выделение пузырьков CO₂ указывает на наличие карбонатов. В этом случае обе навески переносят в фарфоровые чашки и обрабатывают 0,2 н. HCl до

прекращения выделения пузырьков CO_2 .

После разрушения карбонатов раствором 0,05 н. HCl почву переносят на фильтры (навеску для определения потери растворимого вещества перемещают на предварительно взвешенный фильтр) и промывают 0,05 н. HCl до исчезновения реакции на Ca . Когда весь кальций будет вытеснен, обе навески на фильтрах отмывают от избытка HCl дистиллированной водой до исчезновения реакции на Cl .

В случае появления в фильтре мути (прохождение коллоидов через фильтр) промывание водой необходимо прекратить даже при наличии реакции на хлор.

Фильтрат в пробирке нейтрализуют 10 %-ным раствором аммиака до появления запаха, затем подкисляют несколькими каплями 10 %-ной уксусной кислоты, добавляют в избытке 4 %-ный раствор щавелевокислого аммония и подогревают до кипения. Отсутствие осадка и мути указывает на полноту вытеснения Ca .

В пробирку собирают последние капли промывных вод (1-2 мл), подкисляют их несколькими каплями 10 %-ной HNO_3 и добавляют 3-4 капли 5 %-ного азотнокислого серебра. Отсутствие белой мути указывает на конец промывания.

При анализе бескарбонатных («невскипающих») почв обе навески сразу переносят раствором 0,05 н. HCl на отдельные плотные фильтры (один из фильтров взвешивают) и промывают, как было описано выше, до исчезновения реакции на Ca и Cl .

Для определения потери растворимых веществ навеску почвы на взвешенном фильтре переносят во взвешенный сушильный стаканчик, высушивают в течение 4-5 ч при 105°C , охлаждают в эксикаторе и взвешивают. Величину потери при обработке в процентах вычисляют по формуле

$$X = a \cdot 100 / m,$$

где a – потеря от обработки в граммах (разность весов до и после обработки);

m – вес абсолютно сухой почвы, г.

Почву с невзвешенного фильтра смывают дистиллированной водой в фарфоровую чашку, приставшие к фильтру частицы аккуратно счищают стеклянной палочкой, его же самого несколько раз смачивают во второй чашке дистиллированной водой и отжимают. Прозрачная вода, выжимаемая из фильтра, указывает на отсутствие илистых частиц почвы.

Из обеих фарфоровых чашек суспензию почвы переносят в коническую колбу емкостью 750 мм с меткой на 250 мл. Колбу доливают дистиллированной водой до 250 мм, прибавляют 4 мл 1 н. NaOH и в течение двух часов встряхивают через каждые 15 мин, затем закрывают ее пробкой с обратным холодильником и кипятят суспензию на электрической плитке в течение одного часа, не доводя до бурного кипения. После охлаждения

содержимое колбы пропускают через сита с диаметром отверстий 0,5 и 0,25 мм, вложенные в стеклянную воронку, которая опущена в отстойный цилиндр. (Можно ограничиться и одним ситом с диаметром отверстий 0,25 мм) Задерживающуюся на сите почву промывают дистиллированной водой, слегка протирая пальцем. Промывание ведут до тех пор, пока через сито не пойдет совершенно чистая вода. Частицы почвы (1-0,25 мм), оставшиеся на сите (или на двух ситах), при помощи промывалки переносят в чашки, затем в предварительно взвешенные стаканчики, воду выпаривают на водяной или песчаной бане, после чего почву в течение трех часов высушивают в термостате при 105 °С до постоянного веса, охлаждают в эксикаторе, взвешивают и вычисляют содержание частиц диаметром 1-0,25 мм (или 1,0-0,5 мм и 0,5-0,25 мм) в процентах ко взятой сухой навеске.

Суспензию в отстойном цилиндре доводят дистиллированной водой до 1 л и анализируют методом пипетки с учетом скорости падения частиц в воде по Стоксу. Пробы берут пипеткой из цилиндра на глубине: 25 см для частиц < 0,05 мм; 10 см для частиц < 0,01 мм; 10 см для частиц < 0,005 мм и 7 см для частиц < 0,001 мм.

В помещении, где производится анализ, не должно быть резких колебаний температуры, цилиндры с суспензиями следует накрывать картонными колпаками. Температуру суспензии определяют в дополнительном цилиндре с дистиллированной водой. Для частиц меньше 0,05; 0,01 и 0,005 мм температуру измеряют один раз, а для частиц меньше 0,001 - трижды: после взбалтывания суспензии, в середине интервала отстаивания и перед пипетированием. По трем показателям определяют среднюю температуру воды.

Содержимое цилиндра взбалтывают при помощи мешалки (стеклянная палочка длиной 60 см, имеющая резиновый круг с отверстиями диаметром 3 мм на конце) быстро повторяющимися (вверх и вниз) движениями (60 ударов в минуту).

Время взятия проб устанавливают, учитывая скорость падения частиц почвы в воде по Стоксу при различных температурах и удельных весах твердой фазы почвы.

Пробы отбираются пипеткой Робинзона, на трубке которой резиновыми кольцами отмечают границу погружения ее на глубину 7, 10 и 25 см. В пипетку с помощью аспиратора по истечении необходимого времени набирают 25 мл суспензии. (Поскольку точно взять 25 мл суспензии при помощи пипетки трудно, целесообразно пипетку предварительно проградуировать на 24; 24,5; 25; 25,5; 26 мл, что позволит рассчитать результаты анализа исходя из фактического объема.) По окончании засасывания пробы аспиратор, выключают, пипетку вынимают из цилиндра и суспензию сливают во взвешенную фарфоровую чашку. Пипетку обмывают дистиллированной водой над этой же чашкой. Воду выпаривают на водяной или песчаной бане, высушивают в термостате до постоянного

веса при 105 °С, охлаждают в эксикаторе и взвешивают. Зная вес тары, легко определить вес частиц во взятом объеме. Содержание фракции в процентах находят по формуле:

$$X = a \cdot 1000 \cdot 100 / bc,$$

где a - найденный при анализе вес фракции, г;
 b - объем пипетки, мл;
 c - вес абсолютно сухой навески почвы, взятой для анализа, г;
 1000 - коэффициент перевода на 1 мл.

Содержание отдельных фракций находят по следующим расчетам: например, воздушно-сухая навеска для анализа мелкозема - 10,48; процент гигроскопической влаги - 4,8; абсолютно сухая навеска почвы - 10 г; потеря при обработке почвы HCl - 0,35 г.

Вес фракции в процентах от сухой почвы высчитывается и записывается по форме, приведенной в табл. 5.

По разности между фракциями 0,05-0,01; 0,01-0,005; 0,005-0,001 определяется содержание отдельных из них.

Таблица – Форма записи размера и веса фракций

Размер фракций, мм	Вес фракций, г	Вес фракций, %

Содержание фракции 0,25-0,05 мм вычисляется следующим образом: из 100 процентов вычитается суммарное процентное содержание более мелких фракций.

Потерю при обработке в карбонатных почвах распределяют по фракциям в соотношении: 0,25-0,05:0,05-0,01:0,01-0,005:0,005-0,001: < 0,001, как 1:2:4:5.

В бескарбонатных почвах потерю от обработки HCl прибавляют к илистой фракции (< 0,001 мм).

Гранулометрический анализ почвы по П.А.Кучинскому

Для проведения массовых анализов гранулометрического состава почв П. А. Кучинским сконструирован прибор, позволяющий анализировать 10 почвенных проб одновременно. Подготовка проб к анализу проводится способом, описанным выше при рассмотрении механического анализа почвы методом пипетки. Все пробы должны быть подготовлены и перенесены в цилиндры к концу рабочего дня. С 9 часов утра следующего дня начинается отбор проб.

Взмучивание суспензии в цилиндре начинается за 1 мин до 9.00. Скопившийся за ночь осадок на дне цилиндра необходимо сильным вращательным движением мешалки поднять, а затем начать равномерное перемешивание суспензии быстро повторяющимися (60 ударов в минуту)

движениями вверх и вниз. В 9.00 взмучивание в цилиндре заканчивается, мешалку из него вынимают и через 78 с фракция I отбирается в кружку (стакан, тигель). В 9.02 приступают к взмучиванию суспензии в цилиндре, которое заканчивается в 9.03, и через 78 с из него отбирают фракцию I и т. д. до цилиндра включительно. Когда заканчивается отбор фракции I, приближается время отбирать фракцию II, затем из всех цилиндров отбирают фракцию III, на следующий день - фракцию IV (табл. 6).

Сливание первых трех фракций из десяти цилиндров продолжается около двух часов и происходит при открытых дверцах прибора, после чего его закрывают до отбора последней пробы на следующий день. Содержимое кружек выпаривают на водяной бане, высушивают в сушильном шкафу при 105°C, охлаждают, взвешивают. Вес выражают в процентах к весу сухой почвы, взятой для анализа.

Быстрый метод определения гранулометрического состава. Берут две навески почвы, прошедшей через сито с отверстиями диаметром 1 мм: для определения влажности и гранулометрического анализа.

Таблица –Время отбора фракций

Фрак- ция	Время отбора фракций из цилиндров									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I	9.00	9.03	9.06	9.09	9.12	9.15	9.18	9.21	9.24	9.27
II	9.29	9.32	9.35	9.38	9.41	9.44	9.47	9.50	9.53	9.56
III	10.31	10.34	10.37	10.40	10.43	10.46	10.49	10.52	10.55	10.58
На следующий день										
IV	13.28	13.31	13.34	13.37	13.40	13.43	13.46	13.49	13.52	13.55

Навеску воздушно-сухой почвы (суглинистой и глинистой весом 20-30 г, супесчаной - 40 г, песчаной - 50 г) помещают в фарфоровую чашку и смачивают 4 %-ным раствором пирогосфора натрия (40 г безводной соли или 67 г $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \times 10 \text{ H}_2\text{O}$ в 1 л воды). На каждые 10 г незаселенных, некарбонатных почв добавляют 5 мл раствора пирогосфора, карбонатных - 10, засоленных - 20 мл. Нужный объем отливают в стаканчик и из него постепенно увлажняют почву до тестообразного состояния. Навеску почвы в течение 10-15 мин осторожно без нажима растирают пестиком с резиновой головкой. Затем приливают остаток раствора пирогосфора и добавляют воду при постоянном перемешивании тем же пестиком до получения жидкой суспензии, которую переносят через сито с отверстиями диаметром 0,25 мм в литровый цилиндр и, добавляя воду, доводят объем до 1 л. Фракцию 0,25-1,0 мм перемещают с сита в сушильный стаканчик и после высушивания взвешивают.

Суспензию в цилиндре взбалтывают в течение 1 мин, энергично опуская

и поднимая мешалку. Цилиндр оставляют в покое в помещении с ровной температурой до отбора пробы пипеткой.

Глубину и сроки взятия суспензии устанавливают соответственно скорости падения частиц определенного диаметра и удельного веса по данным таблицы.

Содержание каждой фракции в процентах на абсолютно сухую почву определяют по формуле:

$$X = (Q - q)[d_n / (d_n - d_g) \cdot V/v \cdot M \cdot 100],$$

где d_n - удельный вес почвенных частиц;

d_g - удельный вес воды (принимается равным 1);

V - объем всей суспензии (1000 мл);

v - объем пипетки, мл;

M - навеска абсолютно сухой почвы, г;

Q - вес суспензии в объеме пипетки, г;

q - вес воды в объеме пипетки, г.

Таблица - Время отбора проб суспензии

Диаметр частиц менее (мм)	Удельный вес твердой фазы, г/см ³	Глубина взятия пробы	Интервалы для взятия проб суспензии (ч, мин, с) при температуре, °C			
			15	20	25	30
0,05	2,4	25	2.29	2.12	1.57	1.45
0,01		10	24.51	21.59	19.33	17.28
0,005		10	1.39.27	1.27.54	1.18.13	1.09.55
0,001		7	29.00.00	25.28.20	22.48.31	20.23.11
0,05	2,5	25	2.19	2.03	1.40	1.38
0,01		10	23.12	20.31	18.15	16.19
0,005		10	1.32.48	1.22.01	1.12.58	1.05.14
0,001		7	27.03.59	25.55.43	21.17.17	19.01.40
0,05	2,6	25	2.10	1.55	1.43	1.32
0,01		10	21.45	19.14	17.06	15.17
0,005		10	1.26.59	1.16.55	1.08.25	1.01.10
0,001		7	25.22.28	22.25.57	19.57.26	17.50.20
0,05	2,7	25	2.03	1.49	1.37	1.26
0,01		10	20.28	18.06	16.06	14.23
0,005		10	1.21.54	1.12.24	1.04.24	57.34
0,001		7	23.53.05	21.06.44	18.48.40	16.47.24
0,05	2,8	25	1.56	1.43	1.31	1.22
0,01		10	19.20	17.06	15.12	13.35
0,005		10	1.17.20	1.08.22	1.00.50	54.22
0,001		7	22.33.26	19.56.28	17.44.23	15.51.22

Методы определения влажности почвы

Содержание в почве влаги, выраженное в процентах к весу абсолютно сухой почвы, называется влажностью почвы. По физическому состоянию в почве выделяют воду жидкую, парообразную и твердую. Этим состояниям соответствуют несколько категорий, или форм, почвенной влаги.

При проведении лабораторных исследований наиболее часто определяют полевую (общую) и гигроскопическую влажность, а также высчитывают количество доступной для растений влаги в почве.

Определение полевой влажности почв методом высушивания. В этом случае пробы почвы берут в поле специальными бурами с разной глубины по генетическим горизонтам. После извлечения бура из скважины верхний слой почвы в буре зачищают ножом и из 4-5 мест берут образец почвы в специальный алюминиевый бюкс (стакан с крышкой). Повторность обычно трехкратная.

Алюминиевые бюксы диаметром 4 см, высотой 3-4 см должны быть чистыми, иметь плотную крышку, а на стаканчике - отштампованный номер. Перед использованием бюксы следует высушить в термостате при температуре 100-105°C и взвесить с точностью до 0,01 г. Вес пустого бюкса записывают в специальный лабораторный журнал.

При отсутствии бура образцы почв для определения влажности можно отбирать из разрезов. Для этого затененную стенку описанного разреза зачищают ножом на 8-10 см и из каждого генетического горизонта с дву- или трехкратной повторностью берут ножом в бюксы пробы почвы. Бюкс заполняется почвой на 1/2-3/4 объема. В полевом дневнике записывают время и место взятия пробы, номер разреза, горизонт, глубину взятия, номер бюкса.

Если нет возможности взвесить бюксы с почвой в поле, они должны быть доставлены в лабораторию, взвешены и в открытом виде (крышки снимают и надевают на дно стаканчика) поставлены в термостат. Высушивание ведется при 105 °C до установления постоянного веса. Супесчаные и песчаные почвы высушивают обычно 4-6 ч, суглинистые и глинистые - 7-8 ч.

Затем бюксы закрывают крышками, охлаждают в эксикаторе, взвешивают, после чего повторно высушивают в течение двух часов и взвешивают. Если вес бюкса не изменился, сушку прекращают.

Разница в весе стаканчика с почвой до сушки и после сушки означает количество воды, содержавшейся в навеске почвы. Запись и расчет ведутся по специальной форме.

Полевую влажность в процентах к весу абсолютно сухой почвы находят по формуле:

$$W = (P_B - P_C) / (P_C - P_{II}) \cdot 100.$$

Обычно ее подсчитывают с точностью до 0,1 %. Расхождения в параллельных определениях влажности не должны превышать 0,5 % для песчаных и супесчаных почв и 1 % - для суглинистых и глинистых.

Определение гигроскопической влажности. Это влажность, образовавшаяся в результате поглощения почвой влаги из воздуха. Состоянию увлажнения до гигроскопической влажности соответствует термин «воздушно-сухая почва». По мере увеличения паров в окружающем воздухе возрастает величина гигроскопической влажности почвы. Наибольшее количество воды, поглощаемой почвой из полностью насыщенного водяными парами воздуха, т. е. при относительной влажности, равной 100 %, называется максимальной гигроскопической влажностью.

Таблица – Результаты определения полевой влажности почв

Почва	№ разреза	Горизонт, глубина образца, см	№ бюкса	Вес, г					Влажность, %
				Пустого бюкса (P_{Π})	Бюкса с почвой до сушки (P_B)	Бюкса с почвой после сушки (P_C)	Испарившейся воды ($P_B - P_C$)	Абсолютно сухой почвы ($P_C - P_{\Pi}$)	

Гигроскопическую влажность определяют следующим образом. Просеянную через сито с отверстиями в 1 мм почву рассыпают тонким слоем на стекло или глянцевую бумагу, делят на квадраты и из каждого квадрата отбирают немного почвы в предварительно взвешенный бюкс. Вес отобранной таким образом средней пробы для почв легкого гранулометрического состава (пески, супеси) должен составить 5-10 г, а для суглинистых и глинистых – 10-15 г. Бюкс быстро закрывают и взвешивают на аналитических весах, затем крышку снимают, а бюкс помещают в термостат, где поддерживается температура 100-105 °С. Высушивание продолжается 4-5 ч для песчаных и супесчаных почв и 6-8 ч - для глинистых и суглинистых. После высушивания бюксы закрывают и охлаждают в эксикаторе, затем их взвешивают, не снимая крышек, и проводят контрольную сушку при открытых крышках в течение двух часов. Если вес не изменится после повторной сушки или будет отличаться от предыдущего не более чем на 1 мг, то почву считают высушенной до постоянного веса. При большей разности весов повторяют двухчасовое контрольное высушивание до постоянного веса.

По разности между весом бюкса с почвой до и после высушивания определяют содержание гигроскопической влажности (усушку) в навеске

почвы. Зная усушку и вес сухой почвы, вычисляют процентное содержание гигроскопической влажности W_r с точностью до 0,01 % по формуле, приведенной в описании определения полевой влажности почв. При известной величине гигроскопической влажности можно определить коэффициент пересчета аналитических данных на сухую почву по формуле:

$$K_c = (100 + W_r) / 100.$$

Определение максимальной гигроскопической влажности почвы. Вся гигроскопическая влага недоступна для растений. Установлено, что завядание растений наступает при влажности почвы, равной полуторно-двойной максимальной гигроскопичности. Такую влажность почвы называют влажностью завядания, или коэффициентом завядания.

Для определения влажности завядания по максимальной гигроскопичности существует несколько методов. Наиболее простым и доступным является метод А. В. Николаева.

Из средней пробы берут с двойной повторностью навески воздушно-сухой почвы во взвешенные занумерованные стеклянные бюксы диаметром около 5 см и высотой 3 см. Величина навески зависит от гранулометрического состава почвы: для суглинков и глин - 8-10 г (так как они имеют более высокую гигроскопическую влагоемкость), для супесей и песков - приблизительно 12-15 г.

Бюксы открывают и помещают на дырчатую фарфоровую пластинку в эксикатор, на дно которого наливают около 100 мл насыщенного раствора сернокислого калия. Раствор готовят следующим образом: на каждые 100 мл дистиллированной воды берут 15 г K_2SO_4 . Этот раствор создает в эксикаторе относительную влажность 98-99 %. Эксикатор плотно закрывают крышкой, шлифованный край которой смазан вазелином, и ставят в темное место с возможно меньшим колебанием температуры. Через 5-6 дней бюксы вынимают, закрывают крышками, взвешивают и снова ставят в эксикатор. Через каждые 2-3 дня проводят контрольное взвешивание до тех пор, пока вес бюкса с почвой не станет постоянным или пока последние взвешивания будут отличаться не более чем на тысячные доли грамма.

Насыщенная влагой почва высушивается при температуре 100-105 °С до постоянного веса, охлаждается в эксикаторе и взвешивается.

По разности между весом стаканчика после сушки узнают содержание максимальной гигроскопической влажности в навеске почвы. Затем вычисляют ее процентное содержание. Расчет максимальной гигроскопичности, как и все предыдущие расчеты, ведется с точностью до 0,01 %, результаты записывают по приведенной ниже форме (табл. 9).

Максимальная гигроскопическая влажность в процентах к абсолютно сухой почве:

$$W_{м.г.} = (P_B - P_C) / (P_C - P_{п.}) \cdot 100.$$

Расчет количества доступной растениям воды в почве. Определив полевую влажность почвы и максимальную гигроскопичность ее, можно рассчитать количество доступной для растений влаги.

Таблица – Результаты определения максимальной гигроскопичности почвы

Почва	№ разреза	Горизонт, глубина обработки	№ бюкса	Вес пустого бюкса	Вес бюкса с почвой					Вес сухой почвы $P_C - P_{II}$	Потеря от высушивания $P_B - P_C$	Максимальная гигроскопическая влажность, %
					До сушки (P_B), г (трехкратное взвешивание)			После сушки (P_C), г (двукратное взвешивание)				
					I	II	III	I	II			

Для этого количество максимальной гигроскопической влаги умножают на коэффициент завядания, равный в среднем 1,5 (по П. А. Кучинскому), и узнают влажность завядания. Затем из полевой влажности вычитают влажность завядания и получают полезную влагу в процентах. Например, полевая влажность в пахотном горизонте легкосуглинистой почвы составляет 18 %, максимальная гигроскопичность - 4,2%. Влажность завядания будет равна: $4,2 \times 1,5 = 6,3$, полезная влага составит: $18,0 - 6,3 = 11,7$ %. Учитывая объемный вес почвы, можно выразить запас полезной влаги в тоннах на 1 га. Так при объемном весе 1,2 запас полезной влаги в 20-сантиметровом пахотном слое на площади 1 га будет:

$$W_{II} = 11,7 \cdot 20 \cdot 1,2 = 280,8 \text{ т.}$$

Определение удельной массы (плотности) почвы

Под удельной массой почвы понимают отношение массы твердой фазы почвы в сухом состоянии к массе равного объема воды при 4°C.

Величина удельной массы зависит от минералогического состава и количества органического вещества в почве и колеблется в среднем от 2,3 до 2,9. Наиболее часто встречаются почвы с удельной массой 2,5-2,65. Почвы, богатые гумусом, имеют удельную массу твердой фазы 2,3-2,4. Удельная масса торфов зависит от степени разложения торфа и зольности и изменяется в среднем от 1,4 до 1,7.

Удельную массу определяют пикнометрическим методом, суть которого заключается в определении объема воды, вытесненного взятой навеской почвы.

Для определения удельной массы почвы пронумерованные пикнометры

(в дву- и трехкратной повторности) заполняют до метки, предварительно прокипяченной в течение получаса и охлажденной до комнатной температуры (которую измеряют) дистиллированной водой. Пикнометры снаружи досуха обтирают, взвешивают на аналитических весах и записывают вес B .

Из просеянной через миллиметровое сито почвы берут четыре средние пробы примерно по 10-15 г: две на часовое стекло для определения удельной массы, две в стеклянные бюксы для определения гигроскопической влажности.

Из взвешенного пикнометра выливают немногим более 1/2 объема воды, высыпая в нее взятую на часовом стекле навеску почвы. Часовое стекло снова взвешивают и по разности между весом стекла с почвой и пустого стекла узнают вес почвы, взятой для определения удельной массы. После определения гигроскопической влажности делают пересчет на сухую навеску почвы, помещенную в пикнометр.

Почву и воду в пикнометре кипятят для удаления воздуха в течение получаса, доливая воду по мере выкипания до половины. После кипячения пикнометр охлаждают, доливают прокипяченной и охлажденной дистиллированной водой до метки, вытирают снаружи фильтровальной бумагой и взвешивают. Необходимо следить, чтобы температура пикнометра с водой и почвой была одинаковой с первоначальной температурой пикнометра с водой. Вычисление плотности P_s (г/см³) с точностью до 0,01 % производят по формуле:

$$P_s = A/(B+A) - C,$$

где A - навеска сухой почвы, г;

B - вес пикнометра с водой,

C - вес пикнометра с водой и почвой, г.

Определение объемной массы почв

Вес единицы объема абсолютно сухой почвы с ненарушенным строением называется объемной массой почвы. У минеральных почв она колеблется от 1 до 1,8 г/см³, причем в нижних более уплотненных минеральных горизонтах объемная масса выше - 1,6-1,8 г/см³. Объемная масса пахотного слоя в зависимости от времени обработки почвы, содержания гумуса, гранулометрического состава изменяется в широких пределах: 0,8-1,6 г/см³, торфяных почв - колеблется от 0,04-0,08 в верховых до 0,2-0,3 г/см³ в старопахотных низинных. Определение объемной массы почвы позволяет установить содержание воды и воздуха в пахотном или любом другом горизонте почвы.

С этой целью почвенные образцы берут специальным буром емкостью 50, 100 или 500 см³. С обеих сторон они закрываются металлическими

крышками. Буры с крышками взвешивают, вес фиксируют. В поле закладывают разрез и выделяют генетические горизонты, из которых будут брать пробы.

С бура снимают обе крышки и врезают его в почву. Если сложение почвы плотное и бур в нее не входит, его покрывают сверху доской и широким деревянным молотком вколачивают до полного погружения в почву. Сверху бур закрывают крышкой, окапывают вокруг, подрезают снизу ножом и вынимают из почвы. С нижнего конца почву обрезают по краю цилиндра, внешнюю поверхность которого очищают от приставшей почвы, и закрывают вторую крышку. Образцы отбирают в 3-6-кратной повторности. Затем снимают лопатой верхний горизонт почвы, где образцы отобраны, делают горизонтальную площадку в следующем горизонте для отбора образцов и т.д.

Одновременно в бюксы в двукратной повторности отбирают образцы для определения гигроскопической влажности. Доставленные в лабораторию бюксы взвешивают. Рассчитывают объемную массу P_R (г/см³) по формуле:

$$P_B = P/v,$$

где P - масса сухой почвы, г;

v - объем цилиндра, см³

Определение объемной массы из насыпанного образца (по методу Е. А. Домрачевой). Этот метод менее точен по сравнению с полевым. Определение ведется в мерных колбах или металлических цилиндрах с известным объемом.

Пустая литровая колба или цилиндр (примерно 10 см высотой и диаметром около 5 см) взвешиваются. Почву из нерастертого образца насыпают в колбу, постоянно уплотняя ее постукиванием ладони о стенку колбы. Затем колбу с почвой взвешивают и из полученной массы вычитают вес пустого сосуда. При этом получают вес 1 л (1000 см³) воздушно-сухой почвы. Определяют гигроскопическую влажность почвы и находят массу 1 л сухой почвы. Из отношения массы сухой почвы к ее объему получают объемную массу почвы.

Тема 2 ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОЧВ

- 1 Минеральные вещества почв
 - 2 Органические вещества почв
 - 3 Ферменты почв
 - 4 Формы соединений химических элементов в почвах и их доступность растениям
 - 5 Микроэлементы почв
- Практическая часть

1 Минеральные вещества почв

Источником минеральных соединений почвы являются горные породы, из которых складывается твердая оболочка земной коры — литосфера. Органические вещества поступают в почву в результате жизнедеятельности растительных и животных организмов, населяющих почву. Взаимодействие минеральных и органических веществ создает сложный комплекс органо-минеральных соединений почв.

Минеральная часть составляет 80–90% и более веса почв и только в органогенных почвах снижается до 10% и менее.

В составе почв обнаружены почти все известные химические элементы. Средние цифры, показывающие содержание отдельных элементов в литосфере и почвах, по предложению академика А.Е.Ферсмана стали называть кларками (в Честь американского геохимика Ф.У.Кларка, впервые вычислившего в 1889 г. средний химический состав земной коры). Изучение почв с геохимической точки зрения было впервые начато академиком В. И. Вернадским в 1911г.

Содержание отдельных химических элементов в литосфере и почве колеблется в широких пределах (табл. 7).

Таблица 7 – Содержание (в весовых процентах) химических элементов в литосфере и почвах (по А. П. Виноградову, 1950)

Элемент	Литосфера	Почва	Элемент	Литосфера	Почва
O	47,2	49,0	Mg	2,11 3	0,60
Si	27,6	33,0	Ti	0,60	0,46
Al	8,8	7,13	H	0,15	
Fe	5,1	3,80	C	0,10	2,00
Ca	3,6	1,37	S	0,09	0,085
Na	2,64	0,63	P	0,08	0,09
K	2,60	1,36	N	0,01	0,10

Литосфера состоит почти наполовину из кислорода (47,2%), более чем

на четверть из, кремния (27,6%), далее идут алюминий (8,8%), железо (5,1%), кальций, натрий, калий, магний (до 2—3% каждого). Восемь названных элементов составляют более 99% общей массы литосферы. Такие важнейшие для питания растений элементы, как углерод, азот, сера, фосфор, занимают десятые и сотые доли процента. Еще меньше в земной коре микроэлементов (рассматриваются ниже).

Поскольку минеральная часть почвы в значительной степени обусловлена химическим составом горных пород литосферы, имеется сходство почвы с литосферой по относительному содержанию отдельных химических элементов. Как в литосфере, так и в почве на первом месте стоит кислород, на втором кремний, затем алюминий, железо и т. д. Однако в почве по сравнению с литосферой в 20 раз больше углерода и в 10 раз больше азота. Накопление этих элементов в почве связано с жизнедеятельностью организмов, в которых содержится углерода 18% азота 0,3% на живое вещество (по А.П. Виноградову).

В почве больше, чем в литосфере, кислорода, водорода (как элементов воды), кремния и меньше алюминия, железа, кальция, магния, натрия, калия и других элементов, что является следствием процессов выветривания и почвообразования.

Источником химических элементов всех почв и пород являются магматические породы. Они составляют 95% общей массы пород, слагающих верхнюю, 16-километровую толщу литосферы.

Магматические породы по химическому составу очень разнообразны. По среднему содержанию кремнезема, как самой главной составной части, они делятся на пять групп: ультракислые (SiO_2) – 75% и более, кислые – 75–65%, средние – 65–52%, основные – 52–40%, ультраосновные – меньше 40%.

Основные породы не содержат свободного кварца, богаты щелочно-земельными основаниями, бедны щелочами. С переходом к средним и кислым породам уменьшается количество кальция и становится больше натрия и калия. В кислых породах преобладаем калиевый полевой шпат. Ультраосновные породы сложены преимущественно оливином, в котором нет кальция.

На осадочные породы приходится только 5% литосферы. Метаморфические породы в расчет не принимаются, так как причисляются к породам, из которых они образовались.

Процессы выветривания горных пород, переотложения их продуктов приводят к образованию рыхлых пород различного химического состава, покрывающих большую часть суши и являющихся главными почвообразующими породами. В верхних горизонтах этих пород формируются почвы. На долю магматических пород на поверхности литосферы приходится только около 25%.

Химический состав рыхлых пород обуславливается как химическим

составом продуктов выветривания первичной горной породы, так и теми изменениями, которые претерпели продукты выветривания при отложении. Причем процентное содержание отдельных химических элементов или их окислов может быть вызвано как абсолютным изменением количества каждого из них, так и относительным за счет уменьшения или увеличения других элементов. Валовой химический состав некоторых почв и почвообразующих пород дан в таблице 8.

Таблица 8 – Валовой химический состав почв и почвообразующих пород

Почвы и их почвообразующие породы	Горизонт и глубина взятия образца, в см	Содержание, в % веса безводной, сухой почвы			Содержание, в % веса безводной, безгумусной, бескарбонатной почвы			
		гумуса	химически связанной воды	CO ₂ карбонатов	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	
Дерново-сильноподзолистая Ленточная глина	A ₁ , 5—10	4,31	4,52	-	75,58	13,36	4,30	
	C, 80—90	0,10	3,85	-	65,25	18,88	7,27	
Торфянистый подзол	A ₀ A ₁ 10-20	37,55	19,20	-	86,68	8,63	0,55	
Озовый песок	C, 95-100	0,21	0,96	-	87,27	7,78	1,24	
Типичней чернозем	A, 0—10	10,80	2,90	-	78,97	10,67	4,30	
Лёссовидный суглинок	C, 190-200	0,70	3,10	4,1	70, 90	11,42	4,90	
Краснозем	A ₁ , 10-15	10,53	19,18	-	59,14	22,54	14,13	
Красноземная кора выветривания	C, 100-150	-	9,07	-	53,37	31,27	12,05	
Почвы и их почвообразующие породы	Горизонт и глубина взятия образца, в см	Содержание, в % веса безводной, безгумусной бескарбонатной почвы.						Автор
		CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	
Дерново-сильноподзолистая Ленточная глина	A ₁ , 5—10	0,90	1,27	2,94	1,17	0,10	0,02	А.А.Роде
	C, 80—90	1,35	2,34	3,50	1,42	0,01	0,02	
Торфянистый подзол	A ₀ A ₁ 10-20	0,69	0,05	2,24	1,02	0,38	0,08	А.А.Роде
Озовый песок	C, 95-100	0,92	0,18	2,09	1,37	0,04	0,02	
Типичный чернозем	A, 0-10	1,96	1,14	2,29	0,81	0,37	0,49	Е.А.Афанасьева
	C, 190-200	1,56	1,36	2,34	1,40	0,08	0,20	

Лёссовидный суглинок								
Краснозем	A ₁ , 10-15	0,41	1,22	-	-	1,47	0,73	Б.Б.Полынов
Красноземная кора выветривания	C, 100-150	0,09	1,08	-	-	0,57	0,91	
Магматические породы		5,08	3,49	3,13	3,84	0,30	-	Ф.Кларк

Содержание кремнезема в рыхлых породах почти всегда выше, чем в магматических, но сильно колеблется в зависимости от генетического типа почвообразующей породы, ее механического состава. Увеличение количества SiO₂ связано с обогащением рыхлых пород кварцем в процессе выветривания, а также переотложением продуктов выветривания, их сортировкой.

Обогащение кварцем происходит не только вследствие разрушения других минералов, но и в результате новообразования вторичного кварца из кремнезема, отщепляющегося при выветривании.

В песчаных породах содержится более 90%; кремнезема, в суглинистых и глинистых его количество снижается до 50-70%, а содержание Al₂O₃, Fe₂O₃ и других окислов возрастает.

Связанного кремнезема в рыхлых породах меньше, чем в магматических, так как он частично выщелачивается в процессе выветривания. Менее подвижные окислы железа и алюминия накапливаются в рыхлых породах. Эти закономерности отчетливо выявляются химическим анализом бескварцевой части пород.

Накопление окислов алюминия и железа характерно при интенсивном выветривании в условиях влажного теплого климата (см. табл. 11, красноземная кора выветривания). С. В. Зонн (1969) предложил следующее разделение коры выветривания по молекулярным отношениям SiO₂ : R₂O₃ в илистой фракции.

1. **Аллитные** (SiO₂: R₂O₃<2,5) с подразделением на аллитные (резко преобладает над Fe₂O₃); ферраллитные (Al₂O₃ преобладает над Fe₂O₃); аллитферритные (Fe₂O₃ несколько преобладает над Al₂O₃) и ферритные (Fe₂O₃ преобладает над SiO₂ и Al₂O₃ не только в илистой фракции, но и в коре в целом).

2. **Сиаллитные** (SiO₂: R₂O₃>2,5) с подразделением по химическому составу на хлоридно-сульфатные, карбонатно-сульфатные и феррсиаллитные.

Наиболее подвижны среди продуктов выветривания простые соли; растворимость их тем больше, чем ниже валентность их ионов. Поэтому оснований в рыхлых породах и почвах меньше, чем в литосфере. Во влажном климате рыхлые породы обеднены основаниями, а в засушливом

основания накапливаются.

По содержанию щелочноземельных и щелочных оснований почвообразующие породы делятся на засоленные, карбонатные и выщелоченные. По Антипову-Каратаеву (1958), в выщелоченных породах содержится не более 1-3% каждого из окислов кальция, магния, натрия, калия. Карбонатные содержат значительное количество (до 15-20%) карбонатов кальция (CaCO_3). В засоленных породах наряду с карбонатами кальция много сульфатов и хлоридов кальция, магния и натрия.

Химический состав почвообразующей породы отражает в известной мере ее механический и минералогический состав. Песчаные породы, богатые кварцем, состоят преимущественно из кремнезема. Чем тяжелее механический состав породы, тем больше в ней высокодисперсных вторичных минералов, а, следовательно, меньше кремнезема, больше окислов алюминия, железа, химически связанной воды, в породах силлитного типа больше также окислов калия и магния.

Почвы наследуют геохимические черты исходного материала почвообразующих пород. Богатство породы кремнеземом сказывается на содержании его в почве. Почвы, развивающиеся на карбонатной породе — лёссе, имеют и больше кальция. Засоленность почвообразующей породы — источник засоления почвы и т. д. Однако материнская порода в процессе почвообразования изменяется. В зависимости от типа почвообразования происходят изменения в содержании и распределении по профилю почвы различных химических элементов или окислов. Каждый тип почвы приобретает характерную дифференциацию на горизонты с определенным химическим составом. В сравнении с почвообразующей породой верхние горизонты дерново-подзолистых почв обогащены кремнеземом и меньше содержат окислов алюминия и железа. Состав преобладающих окислов для черноземов остается почти неизменным. Для всех почв в отличие от пород характерно накопление органического вещества в верхних горизонтах, с которым связана аккумуляция биологически важных элементов — углерода, азота, а для многих почв также фосфора, серы, кальция.

Характер и масштаб изменений, которые претерпевает порода, обуславливаются факторами почвообразования. Химический состав почв постоянно изменяется в соответствии с непрерывностью процессов выветривания и почвообразования.

2 Органические вещества почв

Гумус и гуминовые кислоты. Корни термина "гумус" уходят вглубь веков к римлянам, которые употребляли его для того, чтобы описать почву в целом. Позже этим термином стали обозначать органический материал почвы и компостов или различных фракций этих органических веществ. Кроме того, гумусом называют комплексы, полученные в результате

реакции химических веществ с различными органическими субстанциями.

Валлериус впервые обозначил гумус (1761 год) как ферментированное органическое вещество. Однако в те времена основные идеи, касающиеся химической природы гумуса и механизма его формирования, были очень неопределенны. Чаще всего гумус определялся как комплекс, формирующийся в почве или в компосте из растительных остатков путем специального процесса называемого "гумификацией".

Де Сауссур, в своей работе уделил большое внимание гумусу. Он обратил внимание на то, что гумус не является однородной субстанцией и состоит из большого количества комплексных веществ, которые способны достаточно быстро из него выделяться. Гумус от "кислого гумуса", который формируется с ограниченным доступом кислорода до "нейтрального гумуса", который формируется при наличии большого количества кислорода. Лебиг говорил о гумусе, как о "коричневой субстанции легко разлагаемом в щелочи, при этом в воде она растворяется неохотно, а получается из *растений* под воздействием кислоты и щелочи".

Термин гумус прочно вошел в обиход, в то время когда органическая химия проявляла себя еще достаточно инфантильно, и когда все органические и неорганические вещества казались очень простыми по химическому составу.

Ваксман определяет гумус как "... аморфный комплексный субстрат коричневого или черного цвета, который происхождением своим обязан разложению органических остатков растительного и животного происхождения, перерабатываемый микроорганизмами в аэробных и анаэробных условиях. Чаще всего встречается в почве, компостах и илистых отложениях". Химически гумус состоит из остатков органики растительного происхождения наименее подверженных разложению; субстанций продолжающих разлагаться; комплексных веществ получившихся в результате разложения, в том числе и в результате гидролиза и окисления; и веществ являющихся результатом жизнедеятельности микроорганизмов. Гумус является природным телом, композитным объектом, как, впрочем, растения, животные и микроорганизмы. Как видите в этом определении гумус представляет из себя еще более сложное комплексное вещество, поскольку каждый из этих элементов имеет свою сложную структуру.

Уголь представляет собой несколько видов гумуса в конечной стадии разложения. Он получается из различных органических остатков растений доисторического периода, которые с течением времени подвергались расслоению и неимоверному давлению со стороны свержлежущих минеральных пород.

Механизм формирования угля через стадию торфа обычно объясняется следующим образом: сначала торф превращается в лигнит, затем в смолистый уголь и наконец в антрацит. Происходит все это при

высоких температурах, которые приводят к фракционной дистилляции. Коричневый уголь или, как его еще называют, лигнит сильно варьирует как по своим физико-химическим свойствам, так и по наличию различных гуминовых кислот, в зависимости от места залегания. Изучение химических процессов вовлеченных в формирование угля привело к различным гипотезам рассматривающим "гуминовые кислоты", "ульминовые кислоты", "гумины", "ульмины" и "фульвокислоты".

Сейчас принято считать, что микроорганизмы сыграли решающую роль при формировании угля.

Значение органического вещества. Формирование почвы имеет сильную связь с деятельностью различных микроорганизмов. Пионерами в этой области являются микроорганизмы, которые имеют отношение к круговороту железа, серы, кальция, кремния, фосфора и других элементов в природе, что было продемонстрировано во множестве научных работ.

В формировании плодородной почвы, органика оказывает прямое влияние, поскольку является источником питательных элементов для растений, которые получают путем минерализации различных ее форм. Помимо этого органика также играет косвенную роль.

Кроме того, что органика является источником питательных элементов для растений, она непосредственно влияет на формирование физических свойств почвы (к примеру, способность почвы удерживать воду) и в большой мере определяет такие физико-химические свойства, как объем вещественного обмена и свойства или возможности накопления. Эти свойства играют большую роль не только в питании растений и их содержании в почве, но и в подавлении вредного эффекта кислотности почвы. Существует также несколько исследований, которые показали, что достаточно маленькое количество органической субстанции (очень слабый раствор гуминовых кислот) оказывает большое положительное влияние на рост и развитие растений/Необходимо провести еще множество исследований, для того, чтобы до конца понять механизм этого процесса.

Роль гуминовых кислот. Количество органического вещества необходимого для внесения в почву было установлено еще в доисторические времена. Однако химия и основы органического вещества стали предметом науки где-то в 18 столетии нашей эры. До Лейбига считалось, что гумус используется растениями непосредственно, но, после того как он показал, что рост растений зависит от неорганических компонентов, многие почвоведы стали считать удобрение органикой полезным только в случае полного разложения последней в неорганические формы.

В то же время многие из почвоведов придерживались мнения о том, что основное влияние гумуса на растения проявляется благодаря его повышенной способности удерживать влагу в почве. Затем в нескольких научных работах было показано, что растения способны абсорбировать

комплексные органические молекулы системных инсектицидов, после этого уже никто не сомневался в способности растений абсорбировать растворимые формы гумуса.

За последние 150 лет органическая химия очень сильно продвинулась и значительно увеличились наши знания об органическом веществе. Некоторые из самых ранних работ Спрэггнела о фракционировании органического вещества все еще являются фундаментом для современных методов органической химии. В этих методах гидроксид натрия (2%) используется для разложения гумуса, как коллоидного алкалоида, из растительных остатков, которые не растворяются в щелочи.

Из этой гумусной золи, гуминовая фракция вытягивается кислотой, которая оставляет желтый осадок на поверхности. Последний представляет из себя фульво-фракцию. Ульминовой кислотой называется фракция гумуса, которую можно извлечь алкалоидом.

Недавние исследования, проведенные при помощи хроматографических, спектрофотометрических и рентгеновских методов многое прояснили в строении органических веществ, присутствующих в гумусе. Интенсивно исследовались реакции катионного и анионного обменов. Однако, очень мало внимания уделялось изучению связей между химией и атрибутами почвенного плодородия: буферизации, образованию питательных элементов и гормональным эффектам из того же источника.

Кононова, работавшая в СССР, сделала несколько очень экстравагантных утверждений о влиянии гуминовых кислот на почву. Она сообщила о времени, на протяжении которого гумус оказывает полезное влияние на плодородие почвы и рост растений, но проигнорировала работы, в которых ученые обнаружили вредный или просто не обнаружили полезного эффектов. Однако, краткий обзор литературы показал противоречивые результаты. Практически на каждую ссылку об успехе гумуса можно найти ссылку на его провал. Очевидно, что из групп веществ, которые могут быть извлечены из гумуса при помощи щелочи (гуминовые кислоты), есть как те которые положительно влияют на плодородие так и те, которые не оказывают никакого влияния.

Джекинсон и Тинсли показали, что лигно-протеины (гуминовый материал) из различных источников имеет различное излучение в инфракрасном излучении. Максимов и Ливски продемонстрировали различие реакций растений на гуминовые удобрения, в зависимости от методов их приготовления. Поэтому, очевидно, следует предполагать, что источник и способ получения будут особенно важны при решении вопроса улучшения плодородия почвы при помощи гуминовых кислот.

Современные работы о леонардите (окисленной форме лигнита), показали, что последний является композицией из солей гуминовых кислот. Тот факт, что в нескольких работах впервые было проверено наличие коммерческого количества гуминовых кислот в химическом и

агрономическом приложениях заслуживает внимания.

Гуминовые кислоты являются коллоидами и ведут себя подобно глине, но принято считать, что они кислоты, и образуют настоящие соли. Когда в гуминовой молекуле преобладают ионы водорода, материал предполагается кислотой и называется соответственно. Однако особого влияния на уровень pH не оказывается, поскольку эти кислоты нерастворимы в воде. Когда в молекуле преобладают катионы отличающиеся от водорода материал называют гуматом. Гуматы моновалентных щелочных металлов растворимы в воде, мультивалентные нерастворимы. Различные катионы оказывают малозаметное влияние на гуминовые молекулы, в смысле их растворимости и способности абсорбироваться в глинах.

Действие гуминовых субстанций. Строго говоря, гуминовые субстанции участвуют в разложении камней и минералов. Многими учеными была показана способность гуминовых кислот разлагать различные минералы. Характер реакции зависит от природы гуминовой субстанции и от устойчивости минерала.

Гуминовые субстанции, как органические компоненты индивидуальной природы, ускоряют превращение различных микроэлементов в формы непосредственно доступные растениям. Положительный эффект оказываемый гуминовыми кислотами на превращение железа в доступные формы, которые защищают растения от хлороза/даже в присутствии P_2O_5 , был показан Дэ Коком в 1995 году. В доставке редких элементов к растениям непосредственно участвуют компоненты, которые связаны с гуминовыми субстанциями в форме хелатов (химических соединений).

На сегодняшний день доступно множество исследований, в которых показана возможность реакций ауксинового типа в присутствии гуминовых субстанций. Кроме того, в нескольких работах четко установлено, что гуминовые субстанции увеличивают степень прорастания семян и увеличивают содержание витаминов в растениях.

Лиеске сообщает, что гуминовые кислоты и их производные увеличивают проницаемость клеточных мембран в растении, увеличивая тем самым способность вбирать питательные вещества. Многими учеными был обнаружен положительный эффект оказываемый гуминовыми кислотами на размножение различных групп микроорганизмов. Они приписывают это свойство железу, которое присутствует в гуминовых кислотах или их коллоидной природе, кроме того, не исключается возможность того, что гуминовые субстанции являются органическими катализаторами.

В экспериментах с пропиткой листьев подсолнуха раствором KH_4KO_3 , присутствие гуминовых кислот увеличило процентное и общее содержание азота. Гуминовые кислоты в небольших количествах действуют как

специфические сенсibiliзирующие агенты, увеличивающие проницаемость плазмы, что приводит к увеличенному забору питательных веществ растениями. В больших объемах гуминовые кислоты являются источником доступного железа.

Христева верит, что гуминовые кислоты, попадая в растение на ранних стадиях развития, являются источником полифенола, который функционирует как катализатор дыхания. Следующие результаты свидетельствуют об увеличении жизненной активности растений: интенсифицируется система энзимов, ускоряется деление клеток, корневая система показывает большее развитие и увеличивается сухой вес урожая.

В последнее время вышло много работ, в которых хорошо продемонстрирован значительный положительный эффект оказываемый гуминовыми кислотами на растения. Это влияние хорошо заметно как во внешнем виде растений, так и во внутренних биохимических процессах. Необходимо провести еще много исследований, для того чтобы установить, каким образом производить и применять гуминовые удобрения. Основные принципы, полученные из теоретических аргументов, следующие: наличие в удобрениях субстанций хиноидной природы оказывает стимулирующее влияние на растения; способность гуминовых субстанции к мелкодисперсной растворимости в воде приводит к повышенной способности их проникновения в растения. Маленькие количества гуминовых удобрений не могут использоваться в качестве основного удобрения, они оказывают стимулирующий эффект только в том случае, когда присутствует необходимое количество основных питательных элементов, азота, фосфора и калия. Интерес к применению различных органических удобрений продолжает увеличиваться. Очевидно, это вызвано следующими причинами:

- ✓ интерес в уменьшении применения минеральных удобрений;
- ✓ общественная обеспокоенность тем фактом, что химическая промышленность очень сильно загрязняет окружающую среду;
- ✓ увеличивающаяся необходимость в консервировании энергии;

Углеводы в почве играют важную роль в процессах гумификации. Они найдены в составе органического вещества почвы. Органическое вещество почвы — это совокупность живой биомассы, органических остатков растений, микроорганизмов и животных различной степени разложения, продуктов их метаболизма и гумуса.

Химический состав органических остатков зависит от типа отмерших организмов, основную массу веществ которых составляют белки, углеводы, лигнин, липиды, липопротеиды, дубильные вещества, смолы, алкалоиды, воски и многие другие органические соединения.

Первичными источниками органических веществ почвы и биосферы являются так называемые первичные продуценты, или автотрофы.

**Таблица 9 – Химический состав высших и низших организмов,
% к сухому веществу**

Организмы	Белковые е вещества	Углеводы		Лигнин	Липиды, дубильные вещества
		целлюлоз а	др. углеводы		
бактерии	40-70	–	есть	–	1-40
водоросли	10-15	5-10	50-60	–	1-3
лишайники	3-5	5-10	60-80	8-10	1-3
мхи	5-10	15-25	30-60	–	5-10
Папоротниковидные:	4-5	20-30	20-30	20-30	2-10
Хвойные:					
– древесина	0,5-1	45-50	15-25	25-30	2-12
– хвоя	3-8	15-20	15-20	20-30	15-20
Лиственные:					
– древесина	0,5-1	40-50	20-30	20-25	5-15
– листья	4-10	15-25	10-20	20-30	5-15
Организмы	Белковы е вещества	Углеводы		Лигнин	Липиды, дубильн. вещества
		целлюлоз а	др. углеводы		
Многолетн. тр.:					
– злаки	5-12	25-40	25-35	15-20	2-10
– бобовые	10-20	25-30	15-25	15-20	2-10

В наземных экосистемах подавляющую часть первичной продукции производят зелёные растения. В почву поступают не только органические вещества отмерших растений (первичное органическое вещество), но и продукты их микробиологической трансформации, а также остатки животных (вторичное органическое вещество). В составе органического вещества почвы находятся все соединения растений, бактериальной и грибной плазмы, а также продуктов их последующего взаимодействия и трансформации. При отмирании организмов эти вещества подвергаются сложным процессам трансформации, превращаясь в новые формы накопления органических веществ в биосфере. При отмирании белкового вещества быстро подвергаются биохимическим превращениям. Под влиянием протеаз они расщепляются на более простые компоненты, аминокислоты, которые легко гумифицируются и минерализуются. Скорость трансформации углеводов различна и обусловлена химическим составом. Наиболее интенсивно разлагаются моно- и олигосахариды, полисахариды разлагаются медленнее и еще медленнее — целлюлоза. Лигнин наиболее устойчив против разложения, но, имея ароматическое строение, он хорошо гумифицируется. Липиды разлагаются медленнее. Углеводы, белки, дубильные вещества, лигнины, жиры, воски, смолы, аминокислоты, сахара, пептиды, жирные смоляные кислоты, фенолы являются в составе гумуса — не специфические органические соединения. Они могут быть выделены из почвы и количественно определены. В

составе гумуса на их долю приходится 5-20% от массы гумуса. При гидролизе углеводов (целлюлозы, гемицеллюлозы, крахмала, полиуронидов, камедей) образуются моносахариды, аминсахара, уроновые кислоты.

Продукты гидролиза углеводов в аэробных условиях окисляются до органических кислот (щавелевой, уксусной, янтарной, различных оксикислот), альдегидов, спиртов, а в дальнейшем до углекислого газа и воды. В анаэробных условиях развиваются различные типы брожений с образованием разнообразных недоокислённых продуктов (метан, спирты, ряд органических кислот), а в конечном итоге — углекислоты, воды, метана, водорода.

Таблица 10 – Соотношение структурных единиц гумусовых кислот, %

Фрагменты молекул	Структурные единицы	ГК чернозёмов	ГК почв подзолистого типа	ФК почв подзолистого типа
Периферическое	всего углеводов	29,0	27,0	44,0
	в том числе: пентозаны	6,0	6,0	4,0
	метил-пентозаны	8,0	7,0	16,0
	гексозы	15,0	14,0	14,0

В большинстве типов почв в пределах почвенного профиля основная часть органического вещества представлена “мёртвым” запасом органических соединений. Живая биомасса (эдафон), состоящая из корней, микроорганизмов, представителей почвенной фауны, составляет в разных почвах приблизительно 2-15% общего содержания органического вещества. Органическое вещество почвы является периферическим, т.е. легко поддающееся деструкции.

Органическое вещество неодинаково распределено в профилях различных типов.

3 Ферменты почв

Ферменты — биологические катализаторы белковой природы, образуемые живыми организмами и характеризующиеся мощностью, лабильностью и специфичностью действия. Ферменты играют важнейшую роль в обмене веществ, они обуславливают скорость и направленность биохимических процессов в клетке. В почве содержатся различные экзо- и эндоферменты, выделяемые после лизиса растительных и микробных клеток.

Ферменты в основном фиксируются илистой и пылевой фракциями почв. Ферментативная активность почв определяет интенсивность и направленность биохимических процессов в почве и является одним из важных биологических показателей, определяющих плодородие почв.

Активность ферментов в почве зависит от её физико-химических свойств: pH, засоленности, карбонатности, окультуренности, внесения удобрений, известкования. Инактивация ферментов происходит тем быстрее, чем больше pH почвы отличается от оптимального pH действия определённого фермента.

Наиболее хорошо изучены в почве ферменты, относящиеся к классам оксидоредуктаз и гидролаз.

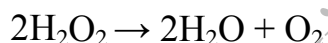
Активность фермента выражается в единицах ферментативного действия, что и отражает количественные изменения, производимые ферментом в субстрате в определённый отрезок времени, при строго определённых условиях – концентрации субстрата, pH, температуры и др.

Подготовка почв для определения ферментов. Образцы почв высушить при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния, очистить от корней и просеять через сито с диаметром отверстий 0,25 мм.

ОКСИДОРЕДУКТАЗЫ

Катализируют ОВР, играющие ведущую роль в биохимических процессах в клетках живых организмов и в почве.

Каталаза катализирует реакцию разложения пероксида водорода на воду и молекулярный кислород:



H_2O_2 образуется в процессе дыхания растений и в результате биохимических реакций окисления органических веществ.

Роль каталазы в почве – она разрушает ядовитый для растений H_2O_2 .

Методы определения каталазной активности почв основаны на измерении скорости распада H_2O_2 при взаимодействии его с почвой. По объёму выделившегося кислорода определяется активность каталазы газометрическим методом основанным на измерении скорости разложения перекиси при её взаимодействии с почвой или по количеству неразложившейся перекиси, которое учитывается путём перганатометрического титрования.

Дегидрогеназы – ферменты, участвующие в процессе дыхания. Они отщепляют водород от окисляемых субстратов. Одни дегидрогеназы могут переносить водород непосредственно на молекулярный кислород, другие – только на какие-либо иные акцепторы, например метиленовую синь. Дегидрогеназы катализируют дегидрирование органических веществ и играют роль промежуточных переносчиков водорода. Субстратами

дегидрирования могут быть различные углеводы, органические кислоты, аминокислоты, гуминовые кислоты и др. отщепляемый в процессе дегидрирования водород может передаваться кислороду воздуха (аэробные дегидрогеназы) или органическими веществами типа хинонов (аэробные). Ленхард рассматривал активность дегидрогеназ как показатель жизнедеятельности микроорганизмов и количества гумусовых веществ, поддающихся разложению микробами.

Аскорбинатоксидаза катализирует окисление аскорбиновой кислоты. Аскорбиновая кислота попадает в почву вместе с растениями и микроорганизмами. Под действием аскорбинатоксидазы она превращается в дегидроаскорбиновую кислоту. Метод определения активности аскорбинатоксидазы основан на установлении остаточного количества аскорбиновой кислоты в процессе реакции при использовании её редуцирующих свойств. Разница между остаточным количеством аскорбиновой кислоты и внесённой в почву равняется количеству образующейся дегидроаскорбиновой кислоты.

Нитратредуктаза катализирует процессы восстановления нитратного азота в почве. Нитратредуктаза действует на восстановленный НАД в качестве донора водорода и переносит водород к кислороду нитратов. В результате действия нитратредуктазы нитраты превращаются в нитриты:



Метод определения активности нитратредуктазы основан на учёте уменьшения количества нитратного азота при нитратной инкубации в почве.

Нитритредуктаза превращает нитриты в гидроксиламин и нитрат окиси аммония. Нитриты образуются в почве в начальной стадии восстановления нитратов:



Принцип метода основан на способности нитритов с сульфаниловой кислотой и нафтиламином (реактив Грисса) в кислой среде давать красную окраску.

Пероксидаза участвует в реакции конденсации веществ при образовании молекулы гуминовых кислот, а также принимает участие в ОВП в почве.

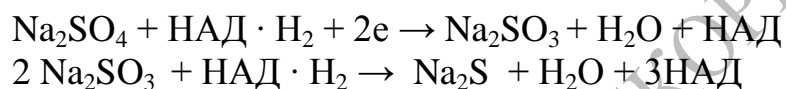
Катализирует окисление полифенолов в присутствии перекиси водорода или органических перекисей, т. к. сами перекиси обладают сравнительно слабым окисляющим действием на фенолы. Пероксидаза действует на фенолы и ароматические амины, пирогаллол, гидрохинон, пирокатехин, ортокрезол и др. оптимальное значение pH активности

пероксидазы лежит в пределах нейтрального и слабощелочного интервала, но может меняться в зависимости от взятых субстратов.

Ферриредуктаза осуществляет перенос водорода, мобилизованного дегидрогеназными системами НАД(Ф) · H₂, на кислород окиси железа, восстанавливая его в закисную форму. Кислород окиси железа – конечный акцептор электронов в цепи ОВП, ведущих к восстановлению соединений железа, - обладает высокой ферриредуктазной активностью.

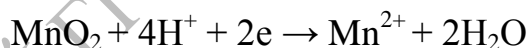
Метод основан на учёте количества образующегося двухвалентного железа при взаимодействии окиси железа с почвой.

Сульфатредуктаза катализирует реакцию восстановления сульфатов до сульфитов, которые восстанавливаются сульфатредуктазой до сульфидов:



Метод основан на учёте уменьшения количества сульфатов в почве после анаэробной инкубации её с субстратом.

MnO₂-редуктаза. В почве обнаружены дегидрогеназные системы, переносящие водород от окисляемых органических субстратов к кислороду двуокиси марганца, восстанавливая её. Реакция протекает в анаэробных условиях, при этом соединения 4-х валентного марганца переходят в двухвалентную форму, доступную для растений, а на кислых почвах в больших количествах – токсичную для растений:



Метод определения MnO₂-редуктазы основан на учёте количества в почве окиси марганца персульфатным способом.

Полифенолоксидаза участвует в превращении органических соединений ароматического ряда в компоненты гумуса в почве. Катализирует окисление фенолов до хинонов в присутствии кислорода воздуха. Хиноны при конденсации с аминокислотами и пептидами могут участвовать в образовании первичных молекул гуминовых кислот. Активность полифенолоксидазы определяется по образованию пурпурогаллина из пирогаллола.

ГИДРОЛАЗЫ

Наибольшее значение имеют те, которые расщепляют сложноэфирные, глюкозидные, пептидные, кислотноангидридные и некоторые другие связи в органических соединениях. Участвуя в реакциях гидролитического распада высокомолекулярных соединений, они играют важную роль в обогащении почвы подвижными и доступными растениям и микроорганизмам питательными веществами.

Глюкозидгидролазы – ферменты, катализирующие гидролиз ди-, три- и полисахаридов по глюкозидным связям в молекулах. Из углеводов в почве обнаружены моно-, ди- и полисахариды, поступающие в почву в составе растительных остатков.

β-фруктофранозидаза гидролизует сахарозу на глюкозу и фруктозу, разрывая связь у β- глюкозидного углеродного атома остатка фруктозы в молекуле сахарозы.

Инвертаза действует на гликозидные соединения: гидролизует сахарозу, рафинозу, генцианозу и стахлозу; катализирует фруктотрансферазные реакции.

Метод основан на изменении количества редуцирующих гексоз, образующихся при гидролизе сахарозы. Сумму редуцирующих гексоз выражают в глюкозном эквиваленте и на способности глюкозы и фруктозы, образующихся при гидролизе сахарозы, восстанавливать медь феллинговой жидкостью. По количеству образовавшейся меди определяется содержание сахаров.

Аденозинтрифосфатаза катализирует гидролитическое расщепление АТФ на АДФ и ортофосфат:



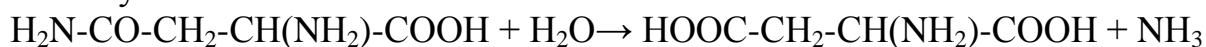
Метод основан на количественном учёте фосфорной кислоты, отщепленной в результате ферментативной реакции при взаимодействии АТФ с почвой.

Амидогидролазы в результате процессов последовательного протеолитического расщепления до аминокислот и распада под действием амидогидролаз и дезаминаз с выделением аммиака азот белковых веществ превращается в доступную для высших растений форму – это процесс аммонификации.

Уреаза катализирует гидролиз мочевины. Конечными продуктами гидролиза являются аммиак и CO_2 . мочевина попадает в почву в результате распада растительных остатков, навоза и как азотное удобрение. Она образуется и в самой почве в качестве продукта превращения азотистых органических соединений – белков и нуклеиновых кислот.

Колориметрический метод определения активности уреазы основан на учёте аммиака, образующегося при гидролизе.

Аспарагиназа действует на амидную связь, катализирует гидролиз аспарагина. Аспарагин разлагается аспарагиназой на аспарагиновую кислоту и аммиак:



Играет существенную роль в азотистом обмене, катализируя превращение важного промежуточного продукта обмена веществ в растениях и почве. Метод основан на измерении количества аммиака, освобождающегося при гидролизе аспарагина в почве.

Протеазы – протеолитические ферменты, катализирующие гидролитическое расщепление белковых веществ до пептидов и гидролиз этих продуктов до аминокислот.

При определении активности протеаз в почве в качестве субстрата обычно применяют казеин, желатин и некоторые пептиды. Принцип метода основан на учёте количества аминокислот, образующихся при протеолизе внесённых в почву белков путём связывания их в окрашенные комплексы.

Фосфатаза – относится к группе ферментов, катализирующих гидролиз фосфоорганических соединений по фосфорноэфирным связям. В почве имеются кислые и щелочные фосфатазы, гидролизующие моноэфиры с выделением минерального фосфора и органического радикала субстрата.

Методы определения активности почвенных фосфатаз основаны на измерении отщеплённого при ферментативной реакции неорганического фосфата или органической части молекулы субстрата – фосфоорганического соединения.

Щелочная фосфатаза определяется при pH – 8; кислая при pH – 5,4; общая фосфатазная активность почвы определяется при pH естественной почвы.

Фосфоорганические соединения составляют важную часть фосфора почвы (20-80%) и превращаются в доступное для растений состояние при ферментативном гидролизе с отщеплением остатков фосфорной кислоты.

Активность фосфогидролитических ферментов характеризует активность биохимических процессов мобилизации органического фосфора в почве.

4 Формы соединений химических элементов в почвах и их доступность растениям

Химические элементы находятся в почвах в различных соединениях.

Кислород. Входит в большинство первичных и вторичных минералов почв, является одним из основных элементов органических веществ и воды.

Кремний. Наиболее распространенное соединение кремния в почвах - феррисиликатов. При их разрушении в результате выветривания и почвообразования кремнезем переходит в раствор в форме анионов орто- и мета-кремниевых кислот $[(\text{SiO}_4)^{4-}]$ и $(\text{SiO}_3)^{2-}$, силикатов натрия и калия, частично в форме золя. Некоторое количество растворенного кремнезема вымывается из почвы, другая часть осаждается (при кислой реакции) в виде гелей $(\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O})$ —аморфных осадков, которые, теряя воду, могут переходить в кварц вторичного происхождения.

Взаимодействуя с основаниями и полуторными окислами, истинно

растворенный и коллоидный кремнезем образует вторичные силикаты — алюмо- и феррисиликаты.

Алюминий находится в почвах в составе первичных и вторичных минералов, в форме органо-минеральных комплексов и в поглощенном состоянии (в кислых почвах). При разрушении первичных и вторичных минералов, содержащих алюминий, освобождается его гидроокись, значительная часть которой при выветривании остается на месте (как малоподвижная) и лишь частично переходит в раствор в виде золя. При слабощелочной реакции гидроокись алюминия полностью выпадает в виде коллоидных осадков — гелей ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), переходящих при кристаллизации во вторичные минералы — гиббсит ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), бемит ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$).

В кислой среде ($\text{pH} < 5$) гидроокись алюминия становится более подвижной и алюминий появляется в почвенном растворе в виде ионов $\text{Al}(\text{OH})_2^+$, $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$, что отрицательно сказывается на росте растений.

Водорастворимая и коллоидная гидроокись алюминия, взаимодействуя с органическими кислотами, образует подвижные комплексные соединения, в форме которых может перемещаться по профилю почвы.

Железо — элемент, необходимый для жизни растений, без железа не образуется хлорофилла. В почвах оно встречается в составе минералов группы ферросиликатов, в виде гидроокислов, окислов, простых солей, а также ферро- и ферриорганических комплексных солей.

В результате выветривания минералов, содержащих железо, освобождается его гидроокись — малоподвижное соединение, выпадающее в форме аморфного геля $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ и переходящее при кристаллизации в гетит $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и гидрогетит $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.

Только в сильно кислой среде ($\text{pH} < 3$) подвижность гидроокиси железа увеличивается, и в почвенном растворе появляются ионы железа (Fe^{3+}). В восстановительных условиях окисное железо переходит в закисное с образованием растворимых соединений FeCO_3 , $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$, FeSO_4 , доступных растениям. Повышенная растворимость солей железа угнетает растения. На почвах нейтральных и щелочных с ярко выраженными окислительными процессами растения могут испытывать недостаток железа, что внешне проявляется как хлороз.

Гидроокись железа, так же как и гидроокись алюминия, может образовывать с органическими кислотами подвижные формы комплексных соединений, способных перемещаться по профилю почвы.

Азот входит в состав всех белковых веществ, содержится в хлорофилле, нуклеиновых кислотах, фосфатидах и многих других органических веществах живой клетки. Основная масса азота почв сосредоточена в органическом веществе. Количество азота находится в прямой зависимости от содержания в почве органического вещества и

прежде всего гумуса. В большинстве почв этот элемент составляет 1/20-1/12 гумуса. Наполнение азота в почве обусловлено биологической аккумуляцией его из атмосферы. В почвообразующих породах азота очень мало.

Азот доступен растениям главным образом в форме аммония, нитратов, нитритов, которые образуются при разложении азотистых органических веществ. Нитриты практически не содержатся в почве. Аммонийный и нитратный азот — основная форма азотистых соединений, которыми питаются растения.

Ион NH_4 легко поглощается почвой с частичным переходом в необменное (фиксированное) состояние. Ион NO_3 не поглощается почвой ни химически, ни физико-химически, находится преимущественно в почвенном растворе и легко используется растениями. Во влажных районах нитраты подвержены вымыванию, особенно в паровом поле.

Обеспеченность растений азотом зависит от скорости разложения органических веществ. Однако нельзя получать высокие урожаи только благодаря мобилизации природных запасов азота, даже на богатых гумусом почвах. Растения потребляют азот в больших количествах. По содержанию в растениях он занимает первое место из элементов питания, получаемых из почвы. Поэтому высокая потребность растений в азоте требует пополнения его запасов в почве.

Фосфор входит в состав многих органических соединений, без которых невозможна жизнедеятельность организмов. Растения содержат десятые доли процента P_2O_5 на сухое вещество. Поглощаясь в больших количествах растениями, фосфор аккумулируется в верхних горизонтах почвы. Валовое содержание его в черноземах составляет 0,35% и более.

В почвах фосфор содержится в органических и минеральных соединениях. Органические представлены фитином, нуклеиновыми кислотами, нуклеопротеидами, фосфатидами, сахарофосфатами и др., минеральные — солями кальция, магния, железа и алюминия ортофосфорной кислоты. Фосфор в почве входит в состав апатита, фосфорита и вивианита, а также находится в поглощенном состоянии в виде фосфат-аниона. Апатит встречается во многих магматических породах и составляет 95% соединений фосфора в земной коре.

В минеральных соединениях почв фосфор представлен в большей части малоподвижными формами. Растворимость фосфатов кальция, магния, алюминия и железа тем меньше, чем выше их основность.

Кислые почвы содержат химически активные формы железа и алюминия, и фосфор здесь в большей части находится в виде фосфатов железа и алюминия (FePO_4 , AlPO_4 , $\text{Fe}_2(\text{OH})_3\text{PO}_4$, $\text{Al}_2(\text{OH})_3\text{O}_4$ и др.) или связан с полуторными окислами в виде адсорбционных соединений, способных к частичному обмену их фосфат-ионов.

В нейтральных или слабощелочных почвах преобладают фосфаты

кальция. В почвах, богатых кальцием, фосфаты кальция постепенно переходят в наиболее устойчивую форму гидроксилapatита $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \times \text{Ca}(\text{OH})_2$, более основную, чем трехкальциевый фосфат $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)$.

Фосфаты являются основным источником фосфора для растений. Фосфор органических соединений усваивается главным образом после их минерализации.

Наиболее благоприятная реакция среды для усвоения растениями фосфат-ионов - слабокислая (pH 6-6,5). Применение фосфорных удобрений целесообразно почти во всех почвах.

Сера входит в белковые вещества, эфирные масла. Потребность растений в ней небольшая, обычно меньше, чем в фосфоре. Биологическая аккумуляция серы в верхних горизонтах почвы зависит от условий почвообразования. Валовое содержание SO_3 в верхних горизонтах почв колеблется в широких пределах — от 0,01 до 2% и более.

Сера находится в почве в форме сульфатов, сульфидов и в составе органического вещества. При разложении органического вещества, окислении сульфидов образуются сульфаты — наиболее устойчивая форма соединения серы в почвах, кроме FeSO_4 .

Сульфаты, особенно калия, натрия, магния, хорошо растворимы в воде, слабо поглощаются почвами в форме SO_4^{2-} и могут накапливаться в них только в условиях сухого климата. Обычно в почвах содержится достаточное количество сульфатов для удовлетворения потребностей растений в сере.

Калий осуществляет важные физиологические функции в организмах. Потребляется растениями в больших количествах, особенно такими культурами, как картофель, корнеплоды, травы, табак.

Валовое содержание калия (K_2O) в почвах относительно высокое. В почвах тяжелого механического состава оно составляет 2% и более. Значительно меньше калия в легких почвах.

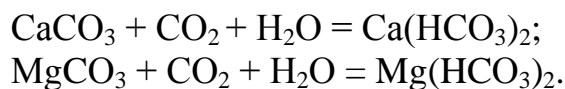
Основная часть калия в почве входит в состав кристаллической решетки первичных и вторичных минералов в малодоступной для растений форме. Некоторые из этих минералов, такие, как биотит и мусковит отдают калий довольно легко и могут служить источником мобилизации доступного калия.

Калий содержится в почве также в поглощенном состоянии (обменный и необменный) и в форме простых солей. В этой форме он легкодоступен растениям, но доля его незначительна. Основным источником калия для растений является обменный калий. Его доступность тем больше, чем выше степень насыщенности им почв. Необменный, или фиксированный, калий труднодоступен. Однако между обменным и необменным калием в почве существует определенное равновесие. При потреблении обменного калия его запасы пополняются за счет необменного. При наличии значительной доли калия в малодоступной

форме растения испытывают в нем недостаток.

Кальций и магний — необходимые элементы питания растений. Им принадлежит, так же как и калию, важная физиологическая роль. Магний входит в состав хлорофилла. Кальций имеет большое значение в создании благоприятных для растений физических, физико-химических и биологических свойств почвы.

В почве кальций и магний находятся в кристаллической решетке минералов, в обменнопоглощенном состоянии и в форме простых солей (хлоридов, нитратов, карбонатов, сульфатов и фосфатов). Кальций среди поглощенных катионов занимает в большинстве почв первое место, магний — второе. Ионы кальция и магния преобладают в почвенном растворе. CaCO_3 и MgCO_3 , как малорастворимые соединения, широко распространены в почвах и служат важнейшими источниками кальция и магния. При взаимодействии углекислого газа, растворенного в воде, карбонаты переходят в более растворимые бикарбонаты:



Растения обычно не испытывают недостатка в кальции и магнии, однако многие почвы нуждаются в известковании или гипсовании в целях улучшения их свойств.

Недостаток кальция для питания растений можно ожидать в солонцеватых почвах, в которых поступление этого элемента в растения сильно задерживается присутствием значительного количества поглощенного натрия. Недостаток магния обнаруживается в дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почвах.

Растения для своего развития нуждаются в значительных количествах азота. Так, зерновые культуры при среднем урожае зерна 4 т/га выносят с 1 га около 100 кг азота.

Формы азота в окружающей растению среде чрезвычайно разнообразны: в атмосфере — молекулярный азот и пары аммиака, в почве — неорганические (нитраты, нитриты, аммоний, аммиак) и органические (аминокислоты, амиды, полипептиды и др.) соединения азота.

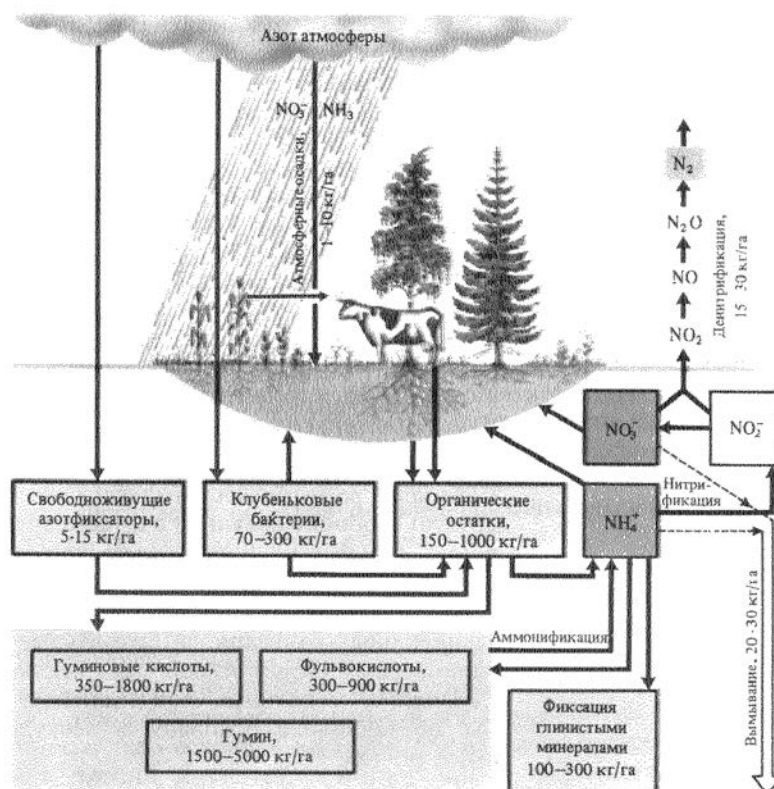


Рис.3 – Круговорот азота в биосфере

Установлено, что высшие растения не способны усваивать молекулярный азот атмосферы. Это монополия азотфиксирующих микроорганизмов (симбиотических и свободноживущих). Общая мировая биологическая фиксация азота составляет около $17,2 \cdot 10^7$ т в год, что в 4 раза превышает химическое связывание N_2 в форме NH_3 на предприятиях химической промышленности.

Основные пути превращений азота в почве – нитрификация, денитрификация, аммонификация, иммобилизация, азотфиксация.

Нитрификация. Аммиак, образующийся в почве при разложении органических веществ, довольно быстро окисляется в нитрит, а затем в нитрат. Этот процесс называется нитрификацией и осуществляют его микроорганизмы:

1. $NH_4^+ \rightarrow NO_2^-$ (Nitrisimonas)
2. $NO_2^- \rightarrow NO_3^-$ (Nitrobacter)

Этапность процесса нитрификации является характерным примером метабиоза (род взаимоотношений между микроорганизмами, когда одни развиваются после других на продуктах их жизнедеятельности). Образовавшиеся при нитрификации нитраты могут претерпевать следующие превращения:

- Использоваться высшими растениями для питания (Д.Н. Прянишников впервые показал, что нитрат и ион аммония являются

равноценными источниками азотного питания растений);

- Легко вымываться из почвы в подстилающие горизонты (особенно на орошаемых землях и в регионах, богатых осадками);
- Использоваться почвенными микроорганизмами для ассимиляторной нитратредукции;
- Восстанавливаться бактериями-денитрификаторами и в виде газообразных продуктов теряться из почвы.

Денитрификация. Способностью к денитрификации обладают многие микроорганизмы (*Pseudomonas*, *Bacillus*, *Paracoccus*). В анаэробных условиях при окислении органических веществ многие микроорганизмы используют нитрат вместо молекулярного кислорода (анаэробное нитратное дыхание). В аэробных условиях этого не происходит. При денитрификации образуются газообразные соединения азота, удаляющиеся из почвы в атмосферу. Этот процесс является, с одной стороны, причиной неполного использования растениями вносимых в почву удобрений (до 20% азота минеральных удобрений уходит в атмосферу в виде газов); с другой стороны, предохраняет водоемы от чрезмерного накопления в них нитратов при вымывании из почвы или поверхностном смыве.

Аммонификация. Процесс представляет собой минерализации азотсодержащих веществ (белки, нуклеиновые кислоты, хитин и пр.) с выделением аммиака. Осуществляют многие микроорганизмы. Особенно интенсивно процесс идет при достаточном количестве кислорода в почве, нейтральных или слабокислых значениях pH, влажности почвы 50-70% ПВ, температуре 30-35°C. Образующийся аммиак испытывает следующие превращения: выделяется в атмосферу; подвергается нитрификации в почве; закрепляется почвенными минералами (иллит, монтмориллонит, вермикулит); иммобилизуется почвенными микроорганизмами.

Иммобилизация или биологическое закрепление минерального азота - процесс, обратный минерализации, происходит при внесении в почву массы, богатой углеводами и бедной азотом. Иммобилизацию осуществляют микроорганизмы, причем только 30-60% этого азота доступно для минерального питания растений.

Биологическая азотфиксация. Изучение этой проблемы является важным по следующим соображениям:

- Биологическая фиксация молекулярного азота гораздо более экономична, чем промышленный синтез аммиака (катализатор + давление + 500°C; тогда как на 1 га посевов бобовых в почву поступает 50-300 кг азота в год).
- Для получения высоких урожаев с/х культур необходим высокие дозы азотных удобрений, что, в свою очередь, приводит к загрязнению окружающей среды и потере части азота в виде газов, образованным микроорганизмами;

- Внесение высоких доз азотных удобрений в посев порождает проблему высокого содержания нитратов в продукции растениеводства.

- Азотные удобрения обычно вносят в почву однократно, до посева, что приводит к истощению их запаса к концу вегетации.

Способностью к азотфиксации обладают не только бобовые, но и некоторые лишайники, мхи, папоротники, высшие растения – казуарина, лох, облепиха, сосна лучистая. Азотфиксирующие протисты можно подразделить на симбиотические (клубеньковые бактерии) и несимбиотические (свободноживущие) азотфиксаторы.

Свободноживущие азотфиксаторы окультуренных сельскохозяйственных почв включают бактерии родов *Azotobacter* и *Beijerinckia*. На затопляемых рисовых полях эффективными азотфиксаторами являются цианобактерии. Свободноживущие азотфиксаторы — гетеротрофы, нуждающиеся в углеводах, как правило, поселяются на поверхности корней и используют корневые выделения. В умеренном климате ежегодная фиксация азота свободноживущими бактериями составляет несколько килограммов на 1 га. Более значительный вклад в фиксацию атмосферного азота вносят *симбиотические азотфиксаторы*, прежде всего бактерии рода *Rhizobium*, поселяющиеся на корнях бобовых растений. Их продуктивность составляет 100-400 кг N/га. Инфицирование растения-хозяина начинается с проникновения бактерий в клетки коры, интенсивное деление которых приводит к образованию клубеньков на корнях. При этом сами бактерии превращаются в окруженные мембраной бактериоиды с высокой нитрогеназной активностью. Бактериоиды примерно в 40 раз больше бактерий по объему, отличаются высоким содержанием гликогена и жиров, резервом фосфатных соединений.

Фермент *нитрогеназа* (*рисунок*) состоит из двух компонентов: более высокомолекулярного Mo, Fe-белка и низкомолекулярного Fe-белка. N_2 связывается и восстанавливается до NH_3 первым олигомером (*схема*), а Fe-белок поставляет для этого процесса электроны, получаемые через ферридоксин от цикла Кребса (*схема фиксации в бактериоиде*). Цикл Кребса обеспечивает также синтез АТФ, необходимый для поддержания структуры нитрогеназного комплекса, и поставляет кетокислоты, которые связывают аммиак с образованием аминокислот. Синтезируемый растением-хозяином гемсодержащий белок леглобин встраивается в мембрану бактериоида и осуществляет транспорт кислорода, создавая защиту нитрогеназы от его разрушающего действия.

Взаимоотношения между высшими растениями и клубеньковыми бактериями характеризуют как симбиоз. Однако на первых этапах инфицирования бактерии питаются целиком за счет высшего растения, т.е. практически паразитируют на нем, поэтому может наблюдаться торможение роста зараженных растений. Развитые клубеньки начинают снабжать азотистыми веществами растение-хозяин и получать от него

фотоассимиляты.

В период вегетативного роста в клубеньки поступает 25-40 % продуктов фотосинтеза, при этом около половины возвращается в надземную часть растения в виде азотистых соединений. При переходе растений к репродуктивной фазе развития поток фотоассимилятов в клубеньки постепенно снижается, что приводит к затуханию их азотфиксирующей деятельности.

Тесная связь восстановления молекулярного азота в клубеньках с фотосинтезом и перераспределением ассимилятов обуславливает зависимость этого процесса от интенсивности и продолжительности освещения, концентрации CO_2 и водообеспеченности растений. Повышенные дозы азотных удобрений подавляют процесс азотфиксации.

Благодаря деятельности клубеньковых бактерий бобовые растения не только обеспечиваются азотсодержащими соединениями, но и значительно обогащают почву азотом за счет корневых выделений и пожнивных остатков.

Высшие растения могут поглощать растворимые азотсодержащие органические соединения - аминокислоты, амиды, короткие полипептиды, но в основном органический азот почвы усваивается после его минерализации. В водной культуре убедительно показано, что зеленое растение представляет собой в высшей степени автотрофный организм, способный синтезировать все, в том числе и азотсодержащие, органические соединения. Основными усвояемыми формами азота для высших растений являются ионы аммония и нитрата. Причем азот - единственный из элементов минерального питания, который корни растений могут поглощать в форме ионов обоих знаков заряда: анион нитрата и катион аммония.

Особенности нитратного и аммонийного питания растений. Наиболее полно вопрос об использовании растениями нитратного и аммиачного азота разработан академиком Д. Н. Прянишниковым (1955) и его сотрудниками. Ими была установлена равноценность этих источников азота и изучены условия эффективного использования его высшими растениями.

Одним из важнейших факторов, определяющих поглощение растениями неорганических форм азота, является реакция питательной среды. В слабокислой среде, при pH 5, лучше поглощаются нитраты. Наоборот, в нейтральной среде, при pH 7, преимущество имеет аммоний. Для усвоения аммония большое значение имеет и наличие в среде достаточного количества ионов кальция.

Физиологическая особенность процессов усвоения заключается в том, что аммоний сразу после поглощения метаболизируется в корнях, превращаясь в азот аминокислот и амидов. Концентрация аммония в тканях и пасоке обычно очень низкая. Поэтому аммонийная форма азота

эффективна только при условии высокой фотосинтетической активности или достаточного количества запасных углеводов. При недостатке органических кислот аммиак не успевает связываться и может быть токсичным для растения.

Исследование большого количества сельскохозяйственных культур позволило разделить их на группы по способности ассимилировать аммиачный азот. Основой классификации служит соотношение между углеводами и белками в семени (C:N). Наиболее успешно питание аммиачным азотом идет у растений, у которых углеводы значительно преобладают над белками. Примером могут служить злаки, у которых отношение C:N примерно 6:1. Находясь в темноте, проростки злаков легко усваивают аммиак до тех пор, пока углеводные запасы семени не истощены. Проростки люпина, имеющие соотношение C:N, равное 0,6:1, не способны ассимилировать аммиак в темноте. Таким образом, различное отношение к аммонийному азоту определяется не столько видовыми признаками растений, сколько уровнем содержания в их тканях углеводов.

Судьба поглощенного растениями нитрата может быть различной. Поступившие нитраты либо запасаются в вакуолях клеток корня, либо подаются с пасокой в надземную систему. Включаться в органические соединения они могут как в корнях, так и в листьях. При этом метаболизация нитратов начинается с их восстановления до аммония. Поэтому были основания полагать, что аммонийное питание энергетически значительно более выгодно, чем нитратное. Однако термодинамические расчеты показали, что у райграса затраты энергии на транспорт из среды в корень и усвоение нитрата только на 8 % выше, чем на использование аммония. Аммоний к тому же должен усваиваться сразу и требует активного притока в корни углеводов и достаточной аэрации.

Наличие в среде одновременно обеих форм минерального азота приводит к увеличению урожая хлебных злаков. Одной из причин этого может быть экономия энергии за счет эффективного распределения нагрузки между корнями и листьями при усвоении аммония и нитратов.

На поглощение растениями нитратов и аммония существенно влияет температура среды. Причем реакция самых разных растений на температурные воздействия оказывается очень сходной: при пониженной температуре относительно или даже абсолютно больше поглощается аммония, чем нитрата, увеличивается метаболическая нагрузка корней по ассимиляции азота. Наиболее неустойчивым к низкой температуре этапом азотного обмена является загрузка ксилемы азотистыми соединениями, особенно нитратами. Замедление оттока приводит к снижению их поглощения.

Таким образом, предпочтительность использования растениями разных форм минерального азота зависит от ряда условий (pH и ионного состава среды, наличия достаточного пула органических кислот,

способных связывать аммиак, температуры и др.). Все эти факторы необходимо учитывать при разработке мероприятий по повышению эффективности применения азотных удобрений.

Ассимиляция нитратного азота. Азот входит в состав органических соединений только в восстановленной форме. Поэтому включение нитратов в обмен веществ начинается с их восстановления, которое может осуществляться и в корнях, и в листьях. Относительная доля участия этих органов в первичной ассимиляции нитратов является видовым признаком. В связи с этим выделяют три основные группы растений:

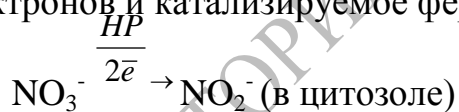
1. Растения, практически полностью восстанавливающие нитраты в корнях и транспортирующие азот к листьям в органической форме. К этой группе относятся горох, люпин, черника, многие древесные растения.

2. Растения, практически не проявляющие нитратредуктазной активности в корнях и ассимилирующие подаваемые с пасок нитраты в листьях. Это бурачник, дурнишник, сахарная свекла, хлопчатник.

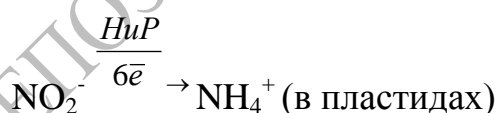
3. Растения, способные восстанавливать нитраты как в корнях, так и в листьях. Это наиболее многочисленная группа, включающая хлебные злаки, кукурузу, фасоль, сорго, овощные культуры. У них, как правило, восстановление нитратов активнее протекает в листьях, однако доля участия разных органов сильно варьирует в зависимости от обеспеченности растений нитратами, концентрации в среде и интенсивности поглощения ионов аммония и калия, уровня освещенности, температуры и других факторов.

По современным представлениям, восстановление нитрата осуществляется в два этапа.

Восстановление нитрата до нитрита, сопряженное с переносом двух электронов и катализируемое ферментом нитратредуктазой (НР):



Восстановление нитрита до аммиака путем переноса шести электронов и катализируемое ферментом нитритредуктазой (НнР):



Нитратредуктаза представляет собой гем- и молибденсодержащий флавопротеин, участвующий в переносе электрона от НАДН к NO_3^- . Восстановление нитратов до нитритов происходит в цитозоле клеток корня и листа. Не исключается возможность локализации нитратредуктазы на плазмалемме и на мембранах органелл, граничащих с растворимой фазой клетки. Но эти ассоциации фермента с мембранами удерживаются слабыми связями и легко разрушаются при выделении органелл.

Вторая стадия восстановления минерального азота осуществляется

при участии фермента *нитритредуктазы*. Это относительно низкомолекулярный белок, включающий около 600 аминокислотных остатков, который содержит железопорфириновую простетическую группу и железо в виде кластера $4\text{Fe}4\text{S}$.

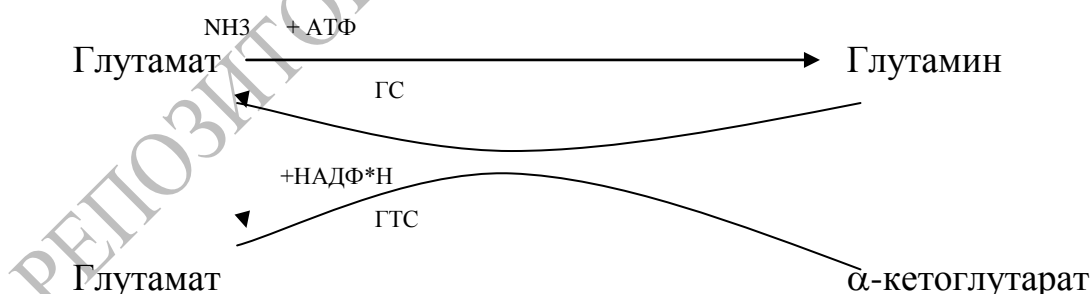
В листьях нитритредуктаза локализована в хлоропластах и в качестве донора электронов использует восстановленный в световой фазе фотосинтеза ферридоксин (Фд). В корнях NO_2 восстанавливается в пропластидах с использованием НАДФ-Н, образующегося в пентозофосфатном пути дыхания.

Ассимиляция аммиака. Аммиак, образовавшийся при восстановлении нитратов или молекулярного азота, а также поступивший в растение при аммонийном питании, далее усваивается в результате восстановительного аминирования кетокислот, поставляемых дыханием. При аминировании α -кетоглутарата, катализируемого глутаматдегидрогеназой (ГДГ), образуется глутамат.

Подобным способом происходит аминирование щавелевоуксусной кислоты (ЩУК) под действием аспартатдегидрогеназы, которое ведет к синтезу аспартата.

В результате восстановительного аминирования пирувата при участии аланиндегидрогеназы образуется аланин.

Однако использование высокочувствительных методов определения активности ферментов показало, что эти ферменты не столь активны, чтобы внести существенный вклад в общий процесс ассимиляции аммиака у растений. В начале 70-х годов был открыт основной путь первичной ассимиляции аммония, включающий две последовательные сопряженные реакции, катализируемые ферментами глутаминсинтетазой (ГС) и глутаматсинтетазой (ГТС).



Механизм реакции включает перенос амидной группы глутамина на α -кетоглутарат в присутствии восстановителя, в результате чего происходит образование двух молекул глутамата. Глутаминсинтетаза (ГС) катализирует реакцию, в которой глутамат функционирует как акцептор NH_3 для образования глутамина. Для этой реакции требуется АТФ. Причем ГС обладает гораздо большим сродством к NH_3 , чем глутаматдегидрогеназа (ГДГ). В настоящее время ГС - ГТС-путь считается

главным в ассимиляции аммиака, образующегося в хлоропласте в результате восстановления нитратов. ГДГ имеет преимущества в темноте и в условиях аммонийного питания растений. Функционируют обе системы как в листьях, так и в корнях.

Более простым способом связывания аммиака является образование аммонийных солей органических кислот. У растений с кислым клеточным соком (щавель, бегония, осоки, хвощи) содержание аммонийного азота в десятки раз превосходит содержание амидного азота.

Аммиак в растениях обезвреживается и при образовании мочевины. Исходным продуктом для синтеза мочевины служит аминокислота орнитин, которая, присоединяя аммиак и углекислоту, превращается в цитруллин. Цитруллин присоединяет еще одну молекулу аммиака и образует аргинин. Аргинин под действием фермента аргиназы с участием воды расщепляется на орнитин и мочевину.

Мочевина неядовита для растений, хорошо усваивается, использование ее азота для всевозможных синтетических процессов происходит очень легко, так как в растительных тканях имеется фермент уреазы, катализирующий расщепление мочевины:

Фосфор. Содержание его составляет 0,2-1,2 % сухой массы растения. В отличие от азота фосфор поглощается и функционирует в растении только в окисленной форме – в виде остатков ортофосфорной кислоты. Собственно весь фосфорный обмен сводится лишь к присоединению или переносу остатка фосфорной кислоты (фосфорилирование и трансфосфорилирование).

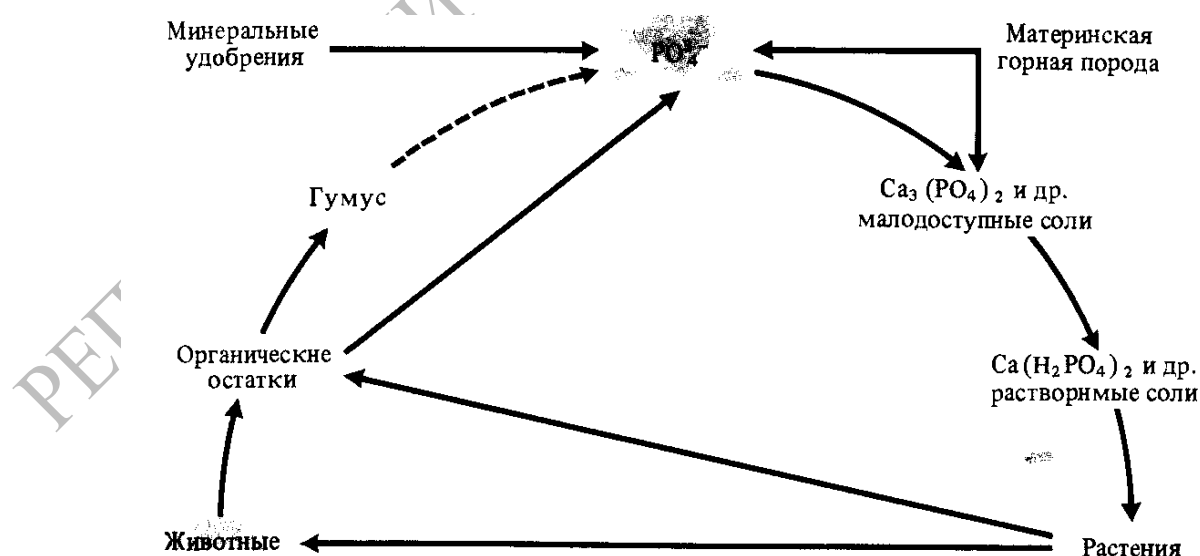


Рис. 4 – Круговорот фосфора в биосфере

Фосфорилирование - это присоединение остатка фосфорной кислоты к какому-либо органическому соединению с образованием эфирной связи, например фосфорилирование глюкозы, фруктозо-6-фосфата в гликолизе.

Трансфосфорилирование— это процесс, при котором остаток фосфорной кислоты, включенный в состав одного органического вещества, переносится на другое органическое вещество.

Несмотря на относительную простоту фосфорного обмена, значение образующихся при этом фосфорорганических соединений огромно. Фосфор - обязательный компонент таких важнейших соединений, как нуклеиновые кислоты, фосфопротеиды, фосфолипиды, фосфорные эфиры, сахара, нуклеотиды, принимающих участие в энергетическом обмене (АТФ, НАД, ФАД и др.), витаминов. Поэтому недостаток фосфора вызывает серьезные нарушения биосинтетических процессов, функционирования мембран, энергетического обмена. При недостатке фосфора корневая система бурееет, слабо развивается, корневые волоски отмирают. Приостанавливается рост растений, задерживается созревание плодов.

Сера. Содержание серы в растительных тканях — 0,2-1,0 % сухой массы. Сера, как и фосфор, поступает в растение в окисленной форме, в виде аниона SO_4 , но на этом сходство заканчивается. В органические соединения сера входит только в восстановленной форме – в составе сульфгидрильных групп ($-SH$) и дисульфидных связей($-S-S-$). Восстановление сульфата происходит преимущественно в листьях. Восстановленная сера может вновь переходить в окисленную функционально неактивную форму. В молодых листьях сера в основном находится в составе органических соединений, а в старых накапливается в вакуолях в виде сульфата кальция.



Рис. 5 – Круговорот серы в биосфере

Сера принимает активное участие в многочисленных реакциях обмена веществ. Почти все белки содержат серосодержащие аминокислоты — метионин, цистеин, цистин. Важнейшие функции серы в белках — участие SH-групп и —S—S-связей в стабилизации трехмерной структуры белков и образование связей с коферментами и простетическими группами. Сочетание метильной и SH-группы обуславливает широкое участие метионина в образовании активных центров ферментов. С этой аминокислоты начинается синтез всех полипептидных цепей.

Другая важнейшая функция серы в растительном организме, основанная на обратимом переходе $2(-SH) \rightleftharpoons -HS-SH-$, состоит в поддержании определенного уровня окислительно-восстановительного потенциала в клетке, необходимого для нормального функционирования всех ферментных систем. К серосодержащим окислительно-восстановительным системам клетки относятся система цистеин \rightleftharpoons цистин и система глутатиона. Глутатион является трипептидом, состоящим из трех остатков аминокислот: глутаминовой, цистина или цистеина и глицина. Его окислительно-восстановительные превращения связаны с переходом —S—S-групп цистина в —SH-группы цистеина ($GS-SG \rightleftharpoons 2GSH$). Освобождение или связывание водорода происходит в зависимости от преобладающих метаболических условий в клетке и при взаимодействии с тиоловыми группами ферментов.

Сера является также компонентом важнейших биологических соединений — коэнзима А ($CoA-SH$) и витаминов (тиамина, липоевой кислоты, биотина), играющих важную роль в дыхании и липидном обмене. Кофермент А поставляет ацетильный остаток ($CH_3CO-SKoA$) в цикл Кребса или для биосинтеза жирных кислот, сукцинильный остаток для биосинтеза порфиринов. Причем в составе этих комплексов сера образует макроэргическую связь, что значительно повышает реакционную способность соединения. Липоевая кислота и тиамин входят в состав липотиаминдифосфата (ЛТДФ), участвующего в окислительном декарбоксилировании пировиноградной и α -кетоглутаровой кислот.

Многие виды растений в малых количествах содержат летучие соединения серы. Например, сульфоксиды входят в состав фитонцидов лука и чеснока. Представители семейства Крестоцветные синтезируют серосодержащие горчичные масла.

Недостаточное снабжение растений серой тормозит белковый синтез, снижает фотосинтез и скорость роста растений, особенно надземной части.

Калий. Содержание калия в растениях составляет около 1 % в расчете на сухую массу. В растительных тканях его гораздо больше, чем других катионов. Содержание калия в растениях в 100—1000 раз превосходит его уровень во внешней среде. Поступает калий в растение в виде катиона K^+ . Калий не входит ни в одно органическое соединение. В клетках он присутствует в основном в ионной форме и легкоподвижен. В наибольшем

количестве калий сосредоточен в молодых растущих тканях, характеризующихся высоким уровнем обмена веществ.

Известно участие калия в регуляции вязкости цитоплазмы, в повышении гидратации ее коллоидов и водоудерживающей способности. Калий служит основным противоионом для нейтрализации отрицательных зарядов неорганических и органических анионов. Высокая подвижность калия создает ионную асимметрию и разность электрических потенциалов на мембране, т.е. обеспечивает генерацию биотоков в растении.

Калий составляет основную часть катионов клеточного сока и принимает активное участие в осморегуляции. Важное значение имеет транспорт калия при открывании и закрывании устьиц.

Транспорт углеводов в растении также связан с перераспределением калия. Установлено, что высокий уровень сахара в зрелых ягодах винограда коррелирует с накоплением значительных количеств калия и органических кислот в соке незрелых ягод и с последующим выходом калия при созревании. Под влиянием калия увеличивается накопление крахмала в клубнях картофеля, сахарозы в сахарной свекле, моносахаридов в плодах и овощах, целлюлозы, гемицеллюлоз и пектиновых веществ в клеточных стенках растений. В результате повышается устойчивость злаков к полеганию, к грибным и бактериальным заболеваниям.

Калий является активатором многих ферментных систем. Он необходим для включения фосфата в органические соединения, синтеза белков, полисахаридов и рибофлавина — компонента флавиновых дегидрогеназ.

Снабжение калием особенно важно для молодых, активно растущих органов и тканей. При дефиците калия снижается функционирование камбия, нарушаются процессы деления и растяжения клеток, развитие сосудистых тканей, уменьшается толщина клеточной стенки эпидермиса. В результате укорачивания междоузлий могут образоваться розеточные формы растений. Недостаток калия снижает продуктивность фотосинтеза прежде всего за счет уменьшения оттока ассимилятов из листьев.

Кальций. Входит в состав растений в количестве 0,2 % сухого вещества. Поступает в растение в виде иона Ca^{2+} . Кальций накапливается в старых органах и тканях. При снижении физиологической активности клеток кальций из цитоплазмы перемещается в вакуоль и откладывается в виде нерастворимых соединений щавелевой, лимонной и других кислот. Это значительно снижает подвижность кальция в растении.

В клетках большое количество кальция связано с пектиновыми веществами клеточной стенки и срединной пластинки. При недостатке кальция клеточные стенки ослизняются.

Важная роль принадлежит ионам кальция в стабилизации структуры мембран, регуляции ионных потоков и биоэлектрических явлениях. Его

относительно много содержится в митохондриях, хлоропластах и ядрах, а также в комплексах с биополимерами пограничных мембран клетки. Большая часть катионообменной поверхности корня занята кальцием. Кальций наряду с протоном водорода принимает активное участие в первичных механизмах поступления ионов в клетки корня. Ограничивая поступление других ионов в растения, кальций способствует устранению токсичности избыточных концентраций ионов аммония, алюминия, марганца, железа, повышает устойчивость к засолению, снижает кислотность почвы.

В цитозоле концентрация кальция низкая (10^{-7} — 10^{-6} моль/г), однако его функции очень многообразны и важны. Локальное изменение концентрации Са в цитозоле приводит к структурной перестройке актомиозиноподобных белков, участвующих в процессах движения цитоплазмы, обратимых изменениях ее вязкости, в пространственной организации цитоплазматических ферментных систем, например гликолиза. Уровнем ионов Са регулируются процессы сборки-разборки микротрубочек, секреции компонентов клеточной стенки с участием везикул Гольджи.

Кальций активирует ряд ферментных систем клетки, например дегидрогеназы, амилазы, фосфатазы, киназы, липазы. Его действие основано на участии в образовании четвертичной структуры белка, создании мостиков в фермент-субстратных комплексах, влиянии на состояние аллостерических центров.

Установлено, что регуляторное действие кальция на многие стороны метаболизма связано с функционированием специфического белка — кальмодулина. Это кислый (рН ИЭТ 3,0-4,3) термостабильный низкомолекулярный белок (148 аминокислотных остатков). Комплекс белка с кальцием активирует многие ферментные системы: протеинкиназы, транспортную Са-АТФ-азу, АТФ-азу актомиозина. С участием кальмодулина регулируется концентрация внутриклеточного кальция. Комплекс Са-кальмодулин контролирует сборку микротрубочек веретена, образование цитоскелета клетки и формирование клеточной стенки.

При недостатке кальция в первую очередь страдают меристематические ткани и корневая система. У делящихся клеток не образуются клеточные стенки, в результате возникают многоядерные клетки. Прекращается образование боковых корней и корневых волосков. Недостаток кальция вызывает также набухание пектиновых веществ, что приводит к ослизнению клеточных стенок и загниванию растительных тканей.

Магний. Содержание магния в растительных тканях составляет около 0,2 % сухой массы. Особенно много магния в молодых растущих частях растения, а также в генеративных органах и запасющих тканях. Магний

поступает в растение в виде иона Mg и в отличие от кальция обладает сравнительно высокой подвижностью. Легкая подвижность Mg объясняется тем, что почти 70 % этого катиона в растениях связано с анионами органических и неорганических кислот. Около 10—12 % магния входит в состав хлорофилла.

Магний является активатором ряда ферментных систем: РДФ-карбоксилазы, фосфокиназ, АТФ-аз, енолаз, ферментов цикла Кребса, пентозофосфатного пути, спиртового и молочнокислого брожения. Магний также активирует процессы транспорта электронов при фотофосфорилировании. Mg необходим для формирования рибосом и полисом, для активации аминокислот и синтеза белков. Он активирует ДНК- и РНК-полимеразы, участвует в образовании определенной пространственной структуры нуклеиновых кислот.

Магний усиливает синтез эфирных масел, каучуков. Образуя комплексное соединение с аскорбиновой кислотой, он предотвращает ее окисление. Недостаток магния приводит к нарушению фосфорного, белкового и углеводного обменов. При магниевом голодании нарушается формирование пластид: граны слипаются, разрываются ламеллы стромы, просветляется матрикс хлоропластов. Впоследствии развиваются хлороз и некроз листьев.

Железо. Входит в состав растения в количестве 0,08 %. Поступает в растение в виде Fe^{3+} - Fe^{2+} . Роль железа в большинстве случаев связана с его способностью к обратимым окислительно-восстановительным превращениями участием в транспорте электронов.

Железо входит в состав участников ЭТЦ фотосинтетического и окислительного фосфорилирования (цитохромов, ферредоксина), является компонентом ряда оксидаз (цитохромоксидазы, каталазы, пероксидазы).

Кроме того, железо является составной частью ферментов, катализирующих синтез предшественников хлорофилла (аминолевулиновой кислоты и протопорфиринов). Поэтому недостаток железа вызывает глубокий хлороз в развивающихся листьях, которые могут быть совершенно белыми, и тормозит два важнейших процесса энергообмена растения — фотосинтез и дыхание.

Растения могут включать железо в запасные вещества. В этом отношении интересен содержащийся в пластидах ферритин — белок, который содержит железо в негеминной форме. На долю железа может приходиться до 23 % сухой массы ферритина.

5 Микроэлементы почв

Микроэлементами условно называют те химические элементы, которые содержатся в почве и в биологических объектах в незначительных количествах. К ним относят бор (B), марганец (Mn), молибден (Mo), медь

(Cu), цинк (Zn), кобальт (Co), йод (I), фтор (F) и др.

Значение микроэлементов. Они выполняют важную физиологическую и биохимическую роль в жизни растений, животных и человека; входят в состав витаминов, ферментов, гормонов. Ненормальное (избыточное или недостаточное) содержание микроэлементов в кормах и продуктах питания приводит к нарушению обмена веществ и развитию тяжелых заболеваний у животных и человека. Так, при недостатке йода развивается эндемия зоба у животных и человека; при недостатке фтора развивается кариес (повреждение зубной эмали), а при избытке — эндемический флюороз (пятнистость эмали); избыток молибдена способствует развитию подагры; при недостатке меди в кормах у ягнят наблюдается заболевание энзоотической атаксией; у овец и других Животных, выпасаемых на пастбищах, в почвах которых много бора, распространены энтериты, нервные расстройства и пневмонии.

Недостаток микроэлементов в почве резко снижает урожай растений и его качество. Например, при недостатке меди в почвах наблюдается полегание растений, невызревание их и резкое снижение урожайности. При недостатке бора затрудняется прорастание пыльцевых трубок, опадает завязь, снижается урожай семян, растения поражаются болезнями (гниль сердечка сахарной свеклы, бактериоз льна).

При недостатке цинка развивается «розеточная болезнь» листопадных деревьев.

Многочисленными исследованиями обнаружена тесная связь между содержанием микроэлементов в почве, с одной стороны, и урожайностью растений, продуктивностью животных и здоровьем человека — с другой. Изучение этих взаимосвязей позволило выявить в пределах нашей страны ряд биогеохимических провинций, учение о которых разработано А. П. Виноградовым.

Биогеохимическая провинция — это территория, иногда значительных размеров, отличающаяся от соседних территорий концентрацией в среде (почвах, водах, воздухе) одного или нескольких микроэлементов (или макроэлементов). В пределах этих провинций вследствие избытка или недостатка микроэлементов могут появляться массовые нарушения обмена веществ у растений, животных и человека, с чем и связаны специфические заболевания — биогеохимические эндемии.

Так, Закарпатская область представляет биогеохимическую провинцию с эндемией зоба: в почвах, водах и пищевых продуктах этой области содержится в 2-5 раз меньше йода, чем в тех областях, где нет эндемии зоба. Выделяют в особую биогеохимическую провинцию Полесскую низменность, которая характеризуется низким содержанием йода в почвах и природных водах. Йод здесь сильнее вымывается из почв, легких по механическому составу, или прочно закрепляется торфом болотных почв, становясь недоступным растениям.

Биогеохимические провинции, обогащенные молибденом, выявлены в Узбекистане, Туве, Забайкалье, Армении и других районах. Биогеохимической провинцией, обогащенной бором, являются многие районы Северо-Западного Казахстана.

Содержание микроэлементов в почвах. В ходе выветривания и почвообразования одни микроэлементы накапливаются в почвах, другие, наоборот, вымываются, теряются.

Одних микроэлементов в почвах содержится больше, чем в литосфере (например, J, B), других – меньше (например, Cu, Co), а некоторых – примерно одинаковое количество.

Основной источник микроэлементов в почвах — почвообразующие породы. Почвы, развитые на продуктах выветривания кислых пород (гранитах, липаритах), бедны Ni, Co, Cu, а почвы, образовавшиеся на продуктах выветривания основных пород (базальтах, габбро), обогащены этими микроэлементами.

Почвы, в которых микроэлементов в 10, 100 и 1000 раз больше по сравнению со средним их содержанием, встречаются вблизи месторождений полезных ископаемых (молибденовых, медных, никелевых и др.).

Некоторые микроэлементы (J, B, F, Se, As) могут поступать в почву с газами атмосферы, дымами вулканов и с метеоритными осадками, причем для таких микроэлементов, как J, F, этот источник поступления в почву является главным.

Микроэлементы могут поступать в почву и при внесении ядохимикатов в целях борьбы с болезнями и вредителями растений.

В результате почвообразовательного процесса содержание микроэлементов и их распределение по генетическим горизонтам могут существенно изменяться. Степень изменения определяется особенностями почв и почвообразовательных процессов и свойствами самих микроэлементов.

Микроэлементы в почвах содержатся:

1) в кристаллической решетке первичных и вторичных минералов в виде изоморфной подмеси;

2) в форме нерастворимых соединений (солей, окислов);

3) в ионно-обменном состоянии;

4) в составе органического вещества;

5) в почвенном растворе.

Огромное значение в миграции микроэлементов и их биологической аккумуляции принадлежит растениям. Корни их извлекают микроэлементы из нижних горизонтов почвы и материнских пород и переносят их в верхние слои. В биогенной аккумуляции микроэлементов в почвах особенно велика роль растений-концентраторов, поглощающих в больших количествах ряд микроэлементов. Например, астрагалы, донник,

норичник содержат Мо в золе в 100 и 1000 раз больше, чем в породе, в то время как в золе других растений его столько же, сколько и в породе, или несколько больше.

Биогенная концентрация микроэлементов во многом зависит от зональных особенностей. По исследованиям М. А. Глазовской (на примере различных зон Урала), коэффициент биологического поглощения наибольший в тундре, высокий в таежно-лесной зоне, заметно падает в луговых степях (<1). Зональные различия в биогенной концентрации микроэлементов автор связывает со степенью их подвижности и доступности растениям. Однако максимальное количество микроэлементов, поступающих с опадом в почву, приходится на зону смешанных и широколиственных лесов и луговых степей. К северу и югу от указанной зоны поступление микроэлементов с опадом уменьшается.

На подвижность микроэлементов в почвах, на их аккумуляцию или вынос и доступность растениям оказывают влияние реакция среды (pH), окислительно-восстановительные условия, концентрация CO_2 и органическое вещество почвы. При кислой реакции почв уменьшается подвижность Мо, но увеличивается – Cu, Zn, Mn, Co. Некоторые микроэлементы (B, I, F) подвижны как в кислой, так и в щелочной средах.

Микроэлементы с переменной валентностью в зависимости от окислительно-восстановительных условий почвы могут переходить из высшей валентности в низшую, и наоборот, что существенно отражается на их миграционной способности. При смене восстановительных (анаэробных) условий окислительными (аэробными) одни микроэлементы, переходя от низшей валентности к высшей, образуют нерастворимые соединения и выпадают в осадок: $\text{Mn}^{2+} \rightarrow \text{Mn}^{3+}$; другие, наоборот, приобретают подвижность и легко мигрируют: $\text{Cr}^{3+} \rightarrow \text{Cr}^{6+}$; $\text{V}^{3+} \rightarrow \text{V}^{5+}$.

Большое влияние на подвижность микроэлементов оказывает концентрация CO_2 в почвенном растворе. Mn, Ni, Ba, Sr способны образовывать соли угольной кислоты (карбонаты и бикарбонаты). При повышении концентрации CO_2 в почвенном растворе карбонаты превращаются в бикарбонаты, что повышает их растворимость и увеличивает миграционную способность микроэлементов.

На подвижность микроэлементов в почвах влияют гумус и низкомолекулярные органические кислоты — муравьиная, лимонная, щавелевая и др. Одни микроэлементы образуют с органическим веществом растворимые соединения, другие (Si, J) закрепляются и становятся недоступными для растений.

Содержание макроэлементов и их распределение по профилю различных типов почв неодинаковы.

В дерново-подзолистой почве максимальное содержание таких микроэлементов, как Co, Mo, Cu, Zn наблюдается в породе (горизонт C); и подзолистом горизонте их больше 50% по сравнению породой, а в

гумусовом горизонте больше, чем в подзолистом горизонте, но все же меньше, чем в породе. В черноземах микроэлементов в гумусовых горизонтах обычно больше, чем в породе. Но от этого правила наблюдаются отклонения, вызываемые оподзоленностью, солонцеватостью, карбонатностью, выпаханностью и рядом других обстоятельств, что и определяет более сложное распределение микроэлементов по профилю различных подтипов черноземов.

Для решения практических вопросов применения микроудобрений важно знать не только валовые запасы микроэлементов, но и содержание их подвижных форм.

Как видно из таблицы 10, количество последних сильно варьирует во всех типах почв, и, следовательно, сельскохозяйственные культуры в отдельных случаях могут испытывать как недостаток, так и избыток в микроэлементах.

Таблица 10 – Содержание подвижных форм микроэлементов в почвах бывшего СССР (по Г. Я. Ринькису, 1963)

Почвы	Си в вытяжке 1 н. HCl	Зн в вытяжке 1 н. KCl	Мн в вытяжке 0,1 н. H ₂ SO ₄	Со в вытяжке 1 н. HNO ₃	Мо в щавелевокисл ой вытяжке (по Григгу)	В водной вытяжке
Подзолистые: минимальное максимальное	0,1 6,7	0,05 26,0	2 300	0,1 3	0,02 0,45	0,02 0,6
Карбонатные нечернозёмной зоны: минимальное максимальное	2 10	0,1 0,6	0,2 50	0,4 4	0,05 1,00	0,3 1,2
Чернозёмы: минимальное максимальное	4 30	0,06 0,2	1 50	1 2,5	0,05 0,40	0,4 1,5
Каштановые: минимальное максимальное	9,4 14	0,06 0,2	1,5 7,5	1 6	0,09 0,60	0,5 0,9
Серозёмы: минимальное максимальное	5 25	0,1 10,0	1,5 125	1 2	0,05 0,20	0,1 0,6

По ориентировочным данным Т. Я. Ринькиса (1963), почвы характеризуются как очень бедные подвижными формами микроэлементов при следующем их содержании: медь < 0,3 мг; цинк < 0,2; марганец < 1; кобальт < 0,2; молибден < 0,05; бор < 0,1 мг на 1 кг почвы, а бедные — соответственно 1,5; 1; 10; 1; 0,15; 0,2 мг. Очевидно, при указанном коли-

честве на таких почвах возможен эффект от применения микроэлементов в качестве удобрений.

Ведущая роль в повышении урожайности сельскохозяйственных культур принадлежит удобрениям. Низкая урожайность связана с нарушением технологии, доз, сроков и способов внесения удобрений. Рациональное использование удобрений возможно лишь при комплексном подходе к химизации сельского хозяйства, разработке и совершенствованию системы удобрения.

Система удобрения - это программа удобрений в севообороте с учетом предшественников, плодородия почвы, климатических условий, биологических особенностей растений и сортов, состава удобрений. Система удобрения разрабатывается с учетом круговорота веществ и их баланса в земледелии. Баланс питательных веществ учитывает поступление их в почву с удобрениями, суммарный расход на формирование урожая и непродуктивные потери из почвы. Балансовый метод позволяет рассчитать дозу полного минерального удобрения. Однако для получения высоких урожаев возникает необходимость дифференцировать питание в процессе вегетации растений, так как их потребность в питательных веществах существенно меняется по фазам развития. Связано это со сложностью взаимоотношения между минеральными элементами и накоплением органического вещества.

Как уже отмечалось, только часть поглощаемых корнями минеральных элементов, главным образом азот, а также фосфор и сера непосредственно входят в состав органических веществ. Основная же роль катионов состоит в регуляции жизненных процессов, и их воздействие на накопление органического вещества является не прямым, а косвенным. Это ясно из того, что внесение в почву удобрений приводит не только к увеличению в растениях общего количества золы и азота, но главным образом к увеличению общего количества органических веществ, большую часть которых составляют углеводы, не содержащие минеральных элементов.

Минеральные вещества, особенно калий, магний, фосфор, способствуют использованию продуктов фотосинтеза на новообразования, что приводит к усилению роста растений и увеличению ассимилирующей листовой поверхности, особенно в первые периоды развития растений. Установлено, что применение удобрений увеличивает фотосинтетический потенциал посевов озимой пшеницы в 1,4-1,8 раза, ячменя - в 1,4-2,2 и овса - в 1,1- 1,5 раза. Увеличение рабочей поверхности приводит к значительному усилению накопления органического вещества не отдельным листом, а всем растением, и тем самым к повышению урожая.

Тесная связь между накоплением органических и минеральных веществ объясняет, почему в засушливые годы полевые культуры на черноземных почвах меньше отзываются на внесение удобрений, чем при

достаточном увлажнении. В условиях недостатка воды величина урожая на черноземных почвах в первую очередь зависит от количества доступной растениям влаги. При улучшении водоснабжения путем орошения и в связи с этим усилением ростовых процессов растения более отчетливо реагируют на внесение соответствующих удобрений.

Надо иметь в виду, что и в условиях недостатка влаги некоторые удобрения оказывают благоприятное влияние на растения, повышая их устойчивость к частичному обезвоживанию. Так, фосфорные удобрения ослабляют вредное действие засухи на растения за счет увеличения количества коллоидно связанной воды и повышения устойчивости коллоидов протоплазмы клеток. Кроме того, под влиянием фосфора снижаются потери воды на транспирацию в наиболее напряженные по водному балансу полуденные часы.

Так как минеральные вещества являются главным образом регуляторами жизненных процессов для растений, очень важно оптимальное снабжение ими на определенных этапах развития.

При прорастании используются главным образом те запасы минеральных веществ, которые уже имеются в семенах, и, кроме того, прирост органического вещества в это время еще относительно невелик, поэтому потребность в поглощении их из почвы в это время еще незначительна. Но она быстро возрастает ко времени наиболее энергичного увеличения общей массы растения, что отмечается в периоды интенсивного образования листовой поверхности, цветения и завязывания плодов. Прекращение же общего накопления органического вещества во время созревания сопровождается резким снижением потребности растений в удобрениях и даже обратным переходом части минеральных веществ из растений.

Растения имеют периоды максимального потребления питательных веществ, когда в довольно сжатые сроки поступает большое количество минеральных элементов. Для одних растений (лен, конопля, яровые зерновые) этот период характеризуется очень коротким сроком, для других (картофель, сахарная свекла) свойственно более длительное поступление элементов минерального питания.

Помимо периодов максимального потребления питательных веществ растения имеют критические периоды потребления элементов питания. Отсутствие в это время того или иного элемента может нанести серьезный ущерб урожаю. Так, в период прорастания растения очень чувствительны к недостатку фосфора, который способствует хорошему развитию корневой системы, в период интенсивного образования вегетативной массы - к недостатку азота.

Потребность в элементах минерального питания также тесно связана с продолжительностью вегетационного периода сельскохозяйственных культур. Культуры и сорта с длинным вегетационным периодом способны

формировать значительно большее количество органического вещества, а следовательно, потреблять и большее количество элементов питания, чем растения с коротким периодом вегетации.

Пропашные культуры с вегетационным периодом 120-160 дней образуют сухого вещества и выносят с урожаем минеральных элементов в 1,5-3,0 раза больше, чем яровые зерновые культуры и лен с периодом вегетации 90-120 дней.

Продолжительностью вегетационного периода обусловлено не только общее потребление растениями элементов питания, но и характер, динамика их потребления. Так, ранние сорта картофеля, заканчивающие вегетацию за 90-100 дней, к завершению фазы цветения поглощают 88 % азота, 66 - фосфора, 84 % калия от суммарного потребления; для среднеспелых сортов эти показатели составляют соответственно 59, 37 и 46 %. К концу созревания в клубнях содержится до 80 % азота, 90 - фосфора и 35 % калия от количества, которое растения усвоили на протяжении всего периода вегетации.

Высшие растения являются крайне автотрофными организмами и для нормального роста и развития не требуют органических веществ. В многочисленных опытах доказаны равноценность или даже преимущества действия минеральных удобрений. Однако, признавая положительную роль гумуса в плодородии почвы, следует подчеркнуть, что увеличить или сохранить на оптимальном уровне имеющиеся запасы органического вещества можно только при совместном использовании органических и минеральных удобрений. Эффективность навоза и минеральных удобрений связана с биологическими особенностями культур. Как правило, действие минеральных удобрений бывает более высоким на зерновых культурах, а навоза - на плодовых и многолетних травах.

При изменении погодных условий, отклонениях в агротехнике уровень урожаев обычно выше на почвах с достаточно высоким содержанием органического вещества, а колебания урожаев по годам меньше. В значительной степени это обусловлено и лучшим использованием растениями вносимых элементов минерального питания, лучшей обеспеченностью растений CO_2 , что создает благоприятные условия для агрофитоценоза в образовании продуктов органического синтеза.

Влияние гумуса на использование растениями питательных веществ, как содержащихся в почве, так и вносимых с удобрениями, приобретает особо важную роль в связи с применением высоких доз удобрений. Внесение большого количества элементов питания, прежде всего высокоподвижных форм азота и калия, может вызвать ряд негативных последствий: избыточное накопление нитратов в растениях и в почвенно-грунтовых водах, открытых водоемах. Только при совместном применении минеральных и органических удобрений, увеличении запасов гумуса в

почве можно успешно разрешить возникающие противоречия необходимости увеличения производства сельскохозяйственной продукции и сохранения окружающей среды от загрязнения.

При планировании высокой урожайности сельскохозяйственных культур приходится вносить удобрения в больших дозах. Но при единовременном внесении полного удобрения растения используют их только наполовину или на треть, а коэффициент использования фосфора часто составляет 1/6. Причиной такого слабого использования удобрений является то, что они переходят в почве в труднодоступные соединения или вымываются из почвы прежде, чем используются растениями. В сухом климате верхние слои почвы пересыхают раньше, чем успевает развиться корневая система, которая уходит в более влажные нижние слои почвы. В результате часть внесенных в почву удобрений остается лежать в сухих слоях почвы неиспользованной.

Кроме того, при таком способе внесения удобрений максимальное их количество растения получают во время прорастания семян, когда слишком высокие, дозы легкорастворимых удобрений (например, калийных) могут затруднить поглощение воды проростками. А к моменту усиленного роста растений и наибольшей их потребности в удобрениях количество доступных питательных веществ в сфере распространения корней успевает уже значительно уменьшиться.

Наиболее полно обеспечение растений в соответствующие фазы развития элементами минерального питания достигается сочетанием внесения основного удобрения с дополнительным в виде подкормок.

В ряде случаев применяют *некорневые подкормки* растений. В принципе все надземные органы могут поглощать питательные вещества. Это используют в плодоводстве, когда в отдельных случаях ветви и стволы перед распусканием листьев опрыскивают сравнительно высококонцентрированными растворами питательных веществ. У облиственных растений некорневое питание осуществляется главным образом листьями. Поступление ионов происходит в растворенном состоянии в основном через кутикулу. Поэтому поглощение тем активнее, чем дольше сохраняется на поверхности листа водная пленка. Теоретически подкормки через листья и через корни по своему влиянию равноценны. Однако при проведении только некорневых подкормок в отдельных случаях нарушается генеративное развитие растений, наблюдается более быстрое старение листьев.

Недостаток удобрения через листья заключается также в том, что при опрыскивании можно использовать только разбавленные растворы (0,5-2%-ные) и ввести небольшое количество питательных веществ, хотя по сравнению с удобрением через корни они быстрее и полнее усваиваются растениями. С помощью некорневых подкормок можно добиться целенаправленного результата, в частности, при необходимости срочного

внесения азота проводят подкормку мочевиной или при появлении признаков дефицита фиксированных почвой железа и микроэлементов опрыскивают растворами их хелатов. Мочевина и хелаты имеют явное преимущество для некорневой подкормки, так как их молекулы целиком попадают в лист, что предотвращает накопление сопутствующих ионов на поверхности листа.

Некорневые подкормки особенно эффективны, когда почва обеднена элементами питания из-за усиленного их вымывания или, наоборот, пониженной растворимости вследствие недостатка влаги, неблагоприятного значения pH почвенного раствора. Кроме того, низкие температуры почвы часто ослабляют поглощение через корни и тем самым повышают эффективность некорневых подкормок.

Правильное построение системы удобрения невозможно без учета генотипической специфики поглощения и усвоения ионов растениями. Например, имеются сорта гречихи, эффективно поглощающие фосфор из труднодоступных соединений. Это ценное свойство, связанное с особенностями корневых выделений, генетически закреплено и наследуется.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Определение тяжелых металлов в почвах

Как было показано в предыдущих главах, определение степени загрязнения почв тяжелыми металлами не представляется простой задачей. Главная причина заключается в том, что любые элементы в почве присутствуют в форме различных соединений, только часть которых доступна растениям. Но эти соединения могут трансформироваться и переходить из одних форм в другие. Поэтому для целей мониторинга выбирают в известной мере условно две или три важнейшие группы. Обычно определяют общее (валовое) содержание элементов, их лабильные (подвижные) формы соединений, иногда отдельно - обменные формы и водорастворимые соединения.

Валовое содержание тяжелых металлов устанавливают или методом эмиссионного спектрального анализа без предварительного разложения пробы почвы, или методами атомно-абсорбционной спектроскопии после переведения пробы почвы в раствор путем сплавления или разложения кислотами.

В случае эмиссионного спектрального анализа навеску почвы в 5-10 г растирают в агатовой ступке до состояния пудры. Из растертой пробы берут навеску около 3 г, прокаливают ее в муфельной печи при 450-500 °C в течение 2 ч для удаления воды и разложения органического вещества. Выясняют потерю от прокаливания для пересчета результатов анализа на исходную массу почвы. В ходе анализа проба почвы сжигается в дуге

переменного тока, и эмиссионные спектры регистрируются на фотопластинках. Для сжигания пробы почвы ее набивают в канал (концентрическую выточку) нижнего электрода спектрографа; верхний электрод изготавливается в форме усеченного конуса с площадкой на торце диаметром около 1 мм. Электроды устанавливаются в держатели спектрографа; в момент включения дуги (дуговые генераторы ДГ-1, ДГ-2) рекомендуется начинать сжигание при небольшой силе тока в 3-5 А, а затем повышают ее до 18-20 А и проводят сжигание в течение 2,5-3 мин до полного испарения пробы.

По окончании съемки спектров пластинку проявляют, фиксируют, промывают, высушивают и содержание элементов находят по интенсивности почернения соответствующих аналитических линий. Для тяжелых металлов и ряда других элементов принято использовать следующие аналитические линии (нм): Be - 234,86; B - 249,77; Sc - 335,37; Ti - 295,61; V - 318,53; Cr - 301,47; Mn - 294,92; Co - 345,35; Ni - 341,47; Cu - 327,39; Zn - 334,50; Ga - 294,36; Sr - 346,44; I - 332,78; Zr - 327,92; Mo - 317,03; Sn - 317,50; Ba - 233,52; Pb - 283,30.

Атомно-абсорбционная спектрометрия используется для определения как валовых, так и подвижных соединений элементов. При валовом анализе подготовка почвы заключается в сплавлении или кислотной обработке. Разложение сплавлением проводят по Дженроу, используя в качестве плавня метаборат стронция $\text{Sr}(\text{BOn})_2$. Плавень получают смешением тонкоизмельченных SrCO_3 и H_3BO_3 и нагреванием в муфеле до 300 °С; затем смесь выдерживают при 700 °С в течение одного часа. Тонкоизмельченную пробу почвы массой 0,1 и 0,5 г плавня смешивают и помещают в графитовый тигель, который нагревают в высокочастотной индукционной печи при 1100 °С в течение 15 мин до получения полностью прозрачного плава. После этого плав выливают в разбавленную HNO_3 (1:100), перемешивают с помощью магнитной мешалки и разбавляют до объема 200 мл. Полученный раствор используют для определения элементов. Концентрацию Si, Al, Ti, Fe, Ca, Mg определяют в пламени оксида азота (III) - ацетилен; элементы Na, K, Мп, Си и другие - в пламени ацетилен - воздух.

При кислотном разложении пробы растертой почвы прокаливают, а затем в чашках из фторопласта обрабатывают 5 мл царской водки и 15 мл 48 %-ной HF , выпаривая на этернитовой плитке. По окончании обработки сухой остаток растворяют в разбавленной HCl (1:1) и в аликвотах раствора определяют отдельные элементы.

Для определения подвижных соединений тяжелых металлов используют кислотные, солевые и водные вытяжки из почв.

Вместо сплавления или полного разложения почв для определения Zn, Cu, Ni, Co, Mn, Pb, Cd используют вытяжку 1 М HCl или HNO_3 . Считается, что в сильно загрязненных почвах вытяжка 1 М HCl извлекает 90-95 %

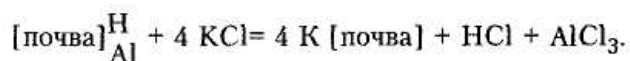
тяжелых металлов. Вытяжку готовят при отношении почва: раствор = 1:10, смесь настаивают сутки или взбалтывают в течение одного часа.

Собственно подвижные, доступные растениям элементы нередко определяют в вытяжках ацетатно-аммонийного буферного раствора с pH 4,8 при отношении почва: раствор = 1:10, водорастворимые соединения элементов - в водных вытяжках из почв.

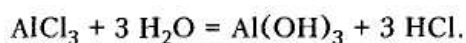
При атомно-абсорбционном определении тяжелых металлов и ряда других элементов используют следующие аналитические линии (нм): Si - 251,6; Al - 309,3; Ti - 364,3; Fe - 248,3; Ca - 422,7; Mg - 285,21; Mn - 279,5; K - 766,5; Na - 589,0; Sr - 460,7; Ba-553,5; Cu-324,7; Zn-213,9; Co-240,7; Ni-232,0; Pb-217,0; Cd - 228,8; As - 193,7.

Определение подвижного алюминия по А. В. Соколову

При возделывании культур, чувствительных к повышенной концентрации подвижного алюминия (лен, ячмень, пшеница и др.), целесообразно отдельно определять содержание подвижного алюминия. Растения угнетаются при содержании подвижного алюминия более 3-4 мг и погибают при содержании 7—8 мг/100 г почвы. Он переводит фосфорную кислоту в труднодоступные формы. При взаимодействии кислых почв с растворами нейтральных солей вместе с поглощенным водородом в раствор переходит поглощенный алюминий:

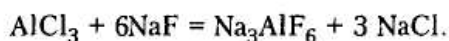


Хлорид алюминия как соль слабого основания и сильной кислоты гидролизуетсся по уравнению:



Происходит подкисление раствора добавочным количеством водородных ионов. Анализ выполняют при pH < 5,5.

Определение подвижного алюминия по Соколову состоит в титровании двух порций солевой вытяжки. Расчет горячего титрования без добавления фторида калия или натрия устанавливает суммарное количество водорода и алюминия в почве, что отвечает общей обменной кислотности почвы. Расчет результатов титрования холодной порции с добавлением фторида калия или натрия устанавливает обменную кислотность, обусловленную только ионами водорода, так как фтористым натрием осаждаются ионы алюминия в виде комплексной нейтральной соли — криолита (Na_2AlF_6). Реакция идет по схеме:



По разности между первым и вторым расчетом определяют содержание подвижного алюминия в миллиграммах на 100 г почвы.

Подвижный алюминий определяется также оксалатным методом и с хромауролом в вытяжке 1 М КС1.

Ход анализа. 60 г воздушно-сухой почвы (торфяно-болотной 5 г) помещают в колбу, приливают 150 мл 1,0 М КС1 и взбалтывают раствор на ротаторе в течение одного часа. Вытяжку необходимо отфильтровать через беззольный фильтр. Пипеткой взять дважды по 50 мл вытяжки и перелить в колбочки емкостью 100 мл. Обе порции фильтрата кипятят в течение 5 мин для удаления CO₂. Затем первую порцию фильтрата в горячем состоянии, добавив 3-4 капли фенолфталеина, титруют 0,01 М NaOH до слабо-розовой окраски и записывают показания в рабочую тетрадь. Во вторую порцию фильтрата добавляют 3 мл 3,5 %-ного раствора фтористого натрия или калия для осаждения ионов алюминия, охлаждают раствор до комнатной температуры, добавляют к нему 2-3 капли фенолфталеина и титруют 0,01 М NaOH до слабо-розовой окраски. Количество подвижного алюминия определяют по следующим формулам:

для минеральных почв:

$$\text{Al}_2\text{O}_3, \text{ мг на } 100 \text{ г почвы} = \frac{(a - b) \cdot K \cdot 0,01 \cdot 100 \cdot 9}{P},$$

для торфяных почв:

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = (a \cdot K - b \cdot K) \cdot 9,$$

где a - количество щелочи для горячего титрования, мл;

b - количество щелочи для холодного титрования, мл;

K - поправка к титру щелочи;

0,01 - нормальность щелочи;

100 - расчет на 100 г почвы;

P - навеска почвы, соответствующая 50 мл фильтрата (20 г);

9 - коэффициент для перевода мг-экв. в мг¹.

Если в солевой вытяжке присутствует заметное количество ионов железа и проба с роданистой солью дает розовое окрашивание, то титрование второй порции фильтрата проводят следующим образом: 1) после добавления фторида раствор отстаивается 15—20 мин для полного

¹ Миллиэквивалент алюминия равен $26,98:3=8,99$, или ≈ 9 мг.

выпадения в осадок не только алюминия, но и железа; 2) прибавляют 2-3 капли метилрота (интервал перехода 4,2-6,2 рН) до перехода окраски индикатора из красной в оранжевую, т. е. до начала ослабления красной окраски; 3) если при титровании начнет выпадать осадок гидроксидов, прибавляют еще 3 мл фторида и дают вновь постоять несколько минут до полного осаждения алюминия и железа; 4) добавляют 2-3 капли индикатора бромтимолблеу (интервал перехода 6,0-7,6 рН) и титруют до перехода желтой окраски в синюю.

При титровании по фенолфталеину результаты получают преувеличенные за счет железа, комплексное соединение которого с фтором в щелочной среде малоустойчиво. Результаты анализа записывают по форме (табл.) Допустимые расхождения результатов при повторных определениях в одной лаборатории 15 %, в разных - 20 %.

Таблица Форма записи анализа в рабочей тетради

№ разреза	Горизонт, глубина взятия образца, см	Навеска, г	Взято вытяжки для определения, мл	Кол-во щелочи, израсходованной на титрование раствора, мл				Al ₂ O ₃	
				Горячего		Холодного		мг-экв.	мг
				Для взятого объема	Для всей навески	Для взятого объема	Для всей навески		

Реактивы:

1. 1,0 М КСl.
2. 0,01 М NaOH. Навеску 0,4 г NaOH растворить в мерной литровой колбе дистиллированной водой до метки.
3. 1 %-ный раствор фенолфталеина.
4. 3,5 %-ный раствор фтористого натрия. Растворить 3,5 г фтористого натрия в 100 мл прокипяченной дистиллированной воды.

Раствор необходимо точно нейтрализовать по фенолфталеину, для чего 3 мл этого раствора и 5 мл 0,1 М Al₂(SO₄)₃, не содержащего свободной кислоты, при добавлении одной капли 0,01 М NaOH должны давать устойчивую красную окраску, в ином случае его нужно довести до этой реакции прибавлением NaOH или HCl.

Оборудование: технические весы с разновесом, ротатор, электроплитки, колбы емкостью 100 и 500 мл, капельница, пипетки на 5 и 50 мл, бюретки, воронки, беззольные фильтры.

Определение гумуса объемным хромовым методом по И. В. Тюрину в модификации В. Н. Симакова

Перед анализом из части почвенного образца (10-20 г) тщательно удаляют пинцетом все корешки. Почву, просеянную через сито с диаметром отверстий 1 мм, высыпают на бумагу, разравнивают тонким слоем и делят на ряд квадратов (примерно 4x4 см²). Из каждого квадрата берут часть почвы, составляя среднюю пробу весом 5 г, которую затем вновь разравнивают тонким слоем на листе бумаги и тщательно отбирают пинцетом заметные для глаза корешки. Самые мелкие корешки отбирают эбонитовой или стеклянной наэлектризованной палочкой, несколько раз осторожно водят над слоем почвы на высоте 3-5 см, так как на слишком близком расстоянии к палочке могут притягиваться и прилипать не только корешки, но и мелкие частицы почвы. После этого почву несколько раз перемешивают, расстилают тонким слоем и вновь производят отбор корешков. Чистоту отбора корешков проверяют через лупу. Затем почву растирают в фарфоровой или агатовой ступке, просеивают через сито с диаметром отверстий 0,25 мм (операцию повторяют до полного просеивания всей пробы). Стандарт не распространяется на определение гумуса в оглеенных горизонтах почвы и пород, почвах с содержанием хлоридов более 0,6 % и пробах с содержанием гумуса более 15 %.

Ход анализа. Из подготовленной пробы берут навеску от 0,1 до 0,5 г в зависимости от предполагаемого содержания гумуса (при 10 % - 0,1 г, при 5 % - 0,2 г и т.д.), высыпают в коническую колбу емкостью 100 мл. Для холостого определения помещают в колбу немного прокаленной пемзы или песка. В колбу доливают из бюретки 10 мл раствора 0,4 М хромового ангидрида. В горлышко колбы вставляют маленькую воронку в качестве холодильника и ставят на водяную баню, кипятят 10 мин умеренно без выделения пара из воронки. (Сжигание гумуса можно проводить в сушильном шкафу при температуре 150 °С в течение 20 мин.) Позеленение раствора свидетельствует о недостатке окислителя, для чего необходимо уменьшить навеску почвы. Колбу охлаждают, споласкивая в нее дистиллированной водой капли осевшей жидкости с воронки, слегка разбавляя раствор. Добавляют 4-5 капель фенилантраниловой кислоты и титруют раствор 0,1 М раствором соли Мора (серноокислая соль закиси железа с аммонием) до появления интенсивно-зеленой окраски. При появлении темно-бурой окраски титровать следует с выдержкой, так как бурая окраска не сразу сменяется зеленой. Результаты анализа вычисляются по формуле

$$x = \frac{(a - b) \cdot c \cdot 100}{P},$$

где x - гумус воздушно-сухой почвы, %;

a - количество соли Мора для холостого титрования;

b - количество соли Мора для рабочего титрования;

P - навеска почвы, г;

100 - для перевода в %;

с - коэффициент перевода в гумус.

При массовых анализах в агрохимлабораториях применяют поточный метод с фотоколориметрическим окончанием. Зная содержание гумуса в почве, можно приблизительно вычислить содержание азота, умножив первый показатель на 0,05. Результаты анализа записывают по приведенной ниже форме (табл.).

Получают умножением 0,00052 г гумуса, что соответствует 1 мл точно 0,1 М раствора соли Мора, на поправку к титру соли Мора. Величина титра соли Мора в расчете на 10 мл может быть 1,01; 1,02 и т. д.; 0,579 -коэффициент перевода гумуса в углерод.

Таблица Форма записи результатов анализа в рабочую тетрадь

№ разреза	Горизонт, глубина отбора образца, см	Навеска, г	Количество соли Мора для титрования, мл	Гумус, %

Реактивы. 1. 0,4 М раствор хромового ангидрида. Навеску 16 г хромового ангидрида или 20 г двуххромовокислого калия растворяют в 0,5 л дистиллированной воды и переносят в мерную литровую колбу, куда до метки (постепенно и понемногу) доливают H_2SO_4 (удельный вес 1,84).

2. 0,1 М раствора соли Мора. 40 г соли Мора растворяют в 1 л дистиллированной воды, содержащей 20 мл серной кислоты. Раствор постепенно меняет титр, поэтому его помещают в плотно закрытый сосуд. Титр соли Мора устанавливается при помощи 0,1 М раствора марганцевокислого калия через каждые два дня.

3. Индикатор фенилантраниловой кислоты. 0,2 г этой кислоты растворяют в 100 мл 0,2 %-ного раствора соды (Na_2CO_3).

Оборудование: технические весы с разновесом, электроплитки, колбы емкостью 100 мл, капельница, воронки, бюретки на 50 или 100 мл, фотоэлектроколориметр (ФЭК) с проточной кюветой, стеклянные пробирки на 50 мл, стеклянные палочки длиной 30 см.

Модифицированное определение гумуса в почвах по методу Тюрина с фотоколориметрическим окончанием

Анализ не распространяется на почвы с содержанием гумуса свыше 15 % и хлор-иона более 0,6 %. В пробирку на 50 мл с навеской почвы приливают 10 мл хромовой смеси, перемешивают стеклянной палочкой, погружают в кипящую баню так, чтобы уровень хромовой смеси был не менее чем на 3 см ниже уровня воды в бане. Кипятят в течение одного часа. Во время кипячения содержимое дважды перемешивают, затем пробирки погружают в баню с холодной водой. После их охлаждения

доливают по 40 мл дистиллированной воды и перемешивают суспензию нагнетанием воздуха в раствор резиновой грушей через стеклянную трубку. Пробирки оставляют до следующего дня для оседания почвенных частиц и осветления раствора. (Иногда приходится выдерживать до двух суток.) Испытуемые растворы и растворы шкалы колориметрируются с оранжевым или красным светофильтром. Применяют ФЭК с проточной кюветой и толщиной просвечиваемого слоя 1 см. Раствор в кювету переносят осторожно, не взмучивая частицы почвы. Содержание гумуса в почвах находят по калибровочному графику, построенному по образцовым растворам рабочей шкалы. На оси ординат наносится оптическая плотность образцовых растворов, на оси абсцисс - содержание гумуса в почве, соответствующее образцовым растворам. Допустимые расхождения между результатами повторных анализов при содержании гумуса в почве до 5 % - около 20 %, до 5-10 % - около 10 %.

Для приготовления шкалы образцовых растворов в 9 пробирок приливают по 10 мл хромовой смеси, кипятят 1 ч. На следующий день после нагревания на водяной бане в пробирки с чистой хромовой смесью приливают соль Мора и дистиллированную воду в следующих количествах:

Соль Мора, мл	0	1	3	5	7	9	11	3	15
Дистиллированная вода, мл	40	39	37	35	33	31	29	27	25

Растворы шкалы колориметрируют, как указано выше. Содержание гумуса в процентах, соответствующее содержанию углерода в образцовом растворе рабочей шкалы, определяют по формуле:

$$x = \frac{a \cdot H \cdot 0,003 \cdot 1,724 \cdot 100}{P} = \frac{a \cdot H \cdot 0,52}{P},$$

где a - объем соли Мора в данной пробирке образцовой шкалы, мл; H - нормальность соли Мора, мг-экв./мл; P - навеска почвы, г; 0,003 - коэффициент для пересчета мг-экв. в г углерода; 1,724 - коэффициент для пересчета углерода на гумус; 100 - для перерасчета в %.

Определение подвижной фосфорной кислоты в дерново-подзолистых почвах по А. Т. Кирсанову

В почве фосфор находится преимущественно в виде минеральных соединений: фосфорнокислых солей кальция, магния, алюминия и железа. Из органических соединений преобладают нуклеиновые кислоты, имеющие небольшое количество фитина и фосфатидов. Наиболее доступны

растениям одно- и двузамещенные фосфаты щелочных и щелочноземельных металлов. Усвоение тех или иных соединений фосфора зависит от биологических особенностей культуры, реакции почвенного раствора, влажности почвы, соотношения в почве различных катионов и анионов.

Существующие методы определения доступного фосфора в почве дают условные показания. Для кислых подзолистых почв используется метод А. Т. Кирсанова. Определение подвижного фосфора в почвах дает возможность выявить степень нуждаемости в фосфорных удобрениях.

Ход анализа. Взвешивают 5 г воздушно-сухой минеральной почвы (параллельно проводят холостое определение без добавления почвы в 0,2 М раствор НСl) и переносят в колбу емкостью 100 мл, куда доливают 25 мл 0,2 М раствора НСl. Соляная кислота такой концентрации растворяет все фосфаты кальция, большую часть фосфатов полуторных оксидов, а также фосфорную кислоту апатита. Содержимое колбы взбалтывают в течение 1 мин и оставляют в покое 15 мин (торф - 16-18 ч), затем фильтруют через беззольный фильтр в заранее приготовленную колбу. В пробирку берут 5 мл фильтрата и прибавляют к нему 5 мл реактива Б, после чего раствор перемешивают оловянной палочкой до получения устойчивой голубой окраски (20-30 с), которую сравнивают со шкалой, и по таблице определяют содержание фосфора на 100 г почвы. При получении в испытуемом растворе окраски более сильной, чем окраска образцового раствора № 8, необходимо разбавить определенный объем фильтрата в 5 раз 0,2 М раствором НСl и снова повторить определение. При расчетах сделать поправку на разбавление. Зеленое окрашивание испытуемых растворов говорит о малом содержании в почве фосфора и указывает на сильную нуждаемость в нем растений.

Шкала образцового раствора для - определения P_2O_5 :

№ пробирки	Взято (мл) образцового раствора $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$	Добавлено (мл) 0,1 М НСl до 100 мл	Содержание P_2O_5 в 100 мл полученного раствора, мг	P_2O_5 , мг/кг почвы	P_2O_5 , кг/га
1	2,5	97,5	0,25	12,5	31,7
2	5,0	95,0	0,50	25,0	62,5
3	10,0	90,0	1,00	50,0	125,0
4	15,0	85,0	1,50	75,0	187,5
5	20,0	80,0	2,00	100,0	250,0
6	30,0	70,0	3,00	150,0	375,0
7	40,0	60,0	4,00	200,0	500,0
8	50,0	50,0	5,00	250,0	625,0

После помешивания жидкости оловянную палочку обмывают дистиллированной водой, вытирают чистой фильтровальной бумагой.

Результаты анализа записывают по форме, приведенной в табл.

Таблица Форма записи в рабочем журнале

№ разреза	Горизонт, глубина отбора образца, см	Навеска, г	Количество 0,2 М НСl, мл	Количество вытяжки, мл	№ образцового раствора, с которым совпала окраска испытуемого раствора	P ₂ O ₅ , мг	
						В 100 мл образцового раствора	На 100 г почвы

Реактивы. 1. 0,2 М раствор НСl. 16,4 мл НСl (удельный вес 1,19) довести дистиллированной водой до метки в литровой колбе.

2. Реактив Б (молибденовокислый аммоний). Сначала готовят реактив А. Для этого в стакане нагревают, не доводя до кипения, 100 мл дистиллированной воды и прибавляют 10 г химически чистого молибденовокислого аммония. Соль растворяют и фильтруют в горячем состоянии, затем охлаждают и доливают 200 мл химически чистой соляной кислоты (удельный вес 1,19) и 100 г дистиллированной воды. Получают 5,0 М раствор соляной кислоты, в которой растворен молибденовокислый аммоний. Раствор необходимо хранить в темной посуде. Из реактива А готовят реактив Б. Для этого к одному объему реактива А прибавляют четыре объема дистиллированной воды.

3. Оловянная палочка. Делают из химически чистого металлического олова, которое расплавляют в фарфоровой чашке и выливают в стеклянную трубочку длиной 5 см и диаметром 5 мм, запаянную с одного конца. После застывания трубку разбивают и извлекают олово. Для удобного пользования оловянную палочку соединяют при помощи небольшой резиновой трубки со стеклянной палочкой.

Оборудование: технические весы с разновесом, колбы емкостью 100 мл, воронки, фильтровальная бумага, пробирки, пипетки на 5 мл.

Определение обменного калия в почвах по методу А. Л. Масловой

Общее количество калия колеблется от 1 до 2,5 % от веса почвы. В песчаных оподзоленных почвах его содержится 0,2-0,3 %, в торфяных - 0,05-0,15 % в пересчете на К₂О. Большая часть калия входит в состав малорастворимых силикатных минералов. В почвах встречаются также доступные растениям водорастворимые соли калия в виде сульфатов, хлоридов, карбонатов, фосфатов, нитратов, отчасти гуматов, а также обменный калий, который входит в почвенный поглощающий комплекс.

Ход анализа. Навеску воздушно-сухой почвы весом 5 г помещают в колбу емкостью 200 мл, приливают 50 мл 1 М раствора уксуснокислого

аммония. Почвенную суспензию встряхивают на ротаторе в течение одного часа и затем фильтруют. Полученный фильтрат используют для определения обменного калия на пламенном фотометре, непосредственно распыляя вытяжки в пламя. Другие элементы почвенного раствора определению калия почти не мешают. Используют красный светофильтр (766,5 и 769,9 нм). Содержание калия в анализируемых почвах определяют по рабочей шкале образцовых растворов в мг/кг почвы. Для концентрированных растворов необходимо разбавление. Допустимые расхождения результатов анализа в одной лаборатории $\pm 10 \%$, в разных $\pm 20\%$.

Для приготовления рабочей шкалы образцовых растворов в мерные колбы на 200 мл отбирают следующее количество исходного образцового раствора:

Исходный раствор, мл	0	1	2	4	6	8	12	16
Содержание K_2O , мг/кг почвы	0	25	50	100	150	200	300	400

Мерные колбы доводят до метки 1 М CH_3COONH_4 .

Для приготовления исходного образцового раствора взвешивают с погрешностью не более 0,001 г 0,792 г хлористого калия, растворяют его в 1 М растворе уксуснокислого аммония в мерной литровой колбе. Полученный исходный раствор содержит 0,5 мг/мл K_2O .

Реактивы. 1 М раствор уксуснокислого аммония. Взвешивают 77 г соли и растворяют дистиллированной водой в мерной литровой колбе. При этом pH раствора должно быть 6,8-7,0, что достигается добавлением уксусной кислоты или аммиака.

Принцип работы пламенного фотометра заключается в следующем: введенный в пламя элемент дает типичный для него спектр, интенсивность которого зависит от концентрации элемента. Через светофильтр наиболее характерная часть спектра исследуемого элемента пропускается на фотоэлемент, в котором лучистая энергия спектра превращается в электрическую (возникает фототок), определяемую высокочувствительным микроамперметром (10 А). По силе возникающего тока и судят о концентрации введенного в пламя элемента. Чем больше потенциал возбуждения атома, тем более высокая температура нужна для возбуждения элемента.

Правила техники безопасности.

1. При включении фотометра необходимо строго соблюдать следующую последовательность: установить защитное устройство; включить воздух; включить газ; зажечь газово-воздушную смесь на выходе из горелки.

2. При выключении фотометра сначала выключить газ, затем воздух.

3. При обнаружении неисправности в работе прибора немедленно выключить газ, продуть систему воздухом, проветрить помещение.

4. Не оставлять без присмотра прибор с действующей горелкой.

Определение подвижных форм P_2O_5 и K_2O из одной вытяжки по А. Т. Кирсанову в модификации ЦИНАО

Сущность метода заключается в подготовке общей вытяжки для фосфора и калия из почв. В дальнейшем подвижный фосфор определяется на фотоэлектроколориметре, а подвижный калий - на пламенном фотометре. Образцовые растворы для каждого элемента готовятся отдельно.

Ход анализа. Навеску 10 г дерново-подзолистой почвы (торфа 1г) переносят в колбу емкостью 100-200 мл, добавляют 50 мл 0,2 М HCl. Смесь встряхивают в течение 1 мин, отстаивают 15 мин (не более!), затем фильтруют через беззольный фильтр. (Торф после встряхивания отстаивается в течение 16-18 ч) Параллельно проводят холостое определение. Для определения фосфора используют 5 мл вытяжки, для определения калия - 10-20 мл.

Определение P_2O_5 . 5 мл фильтрата помещают в мерную колбу на 100 мл, куда добавляют 95 мл реактива Б и перемешивают. Через 10 мин раствор колориметрируют, так как со временем интенсивность окраски раствора ослабевает. Колориметрирование на ФЭКе проводят с красным фильтром в кюветах объемом 10 или 20 мл (последнюю используют для слабоокрашенных растворов).

Допустимые расхождения результатов при повторном определении подвижных форм фосфора в почве в одной лаборатории ± 20 %, в разных - ± 35 %.

Для приготовления рабочей шкалы образцовых растворов фосфатов в мерные колбы емкостью 500 мл отбирают следующее количество исходного раствора фосфата:

Исходный раствор, мл	0	5	15	25	50	75	100	125
Содержание фосфора, соответствующее мг P_2O_5 на 1 кг почвы	0	5	5	25	50	75	100	125

Объем растворов в колбах доводят до 500 мл 0,2 М HCl. Окрашивают образцовые растворы для калибровки фотоэлектроколориметра аналогично окрашиванию анализируемых почвенных вытяжек: к 5 мл из каждой колбы раствора добавляют 95 мл реактива Б.

Реактивы. 1. 0,2 М HCl. Концентрированную HCl в объеме 16 мл смешивают с дистиллированной водой, доводя объем до 1 л. Для анализа кислота должна иметь нормальность в пределах 0,19-0,21. Титр раствора устанавливается раствором едкого натрия с доведением фенолфталеина.

2. Окрашивающий раствор. Реактив А. 6 г молибденовокислого аммония растворяют в 200 мл дистиллированной воды. 0,145 г

сурьмянокислого калия растворяют в 100 мл дистиллированной воды. Оба раствора слабо нагревают. После охлаждения растворы приливают к 500 мл 10 М H₂SO₄. Раствор перемешивают и доводят объем до 1 л дистиллированной водой. Реактив хранят в темной посуде.

Реактив Б. 0,887 г аскорбиновой кислоты растворяют в 168 мл реактива А и доводят объем до 1 л дистиллированной водой. Раствор готовят в день проведения анализа.

3. Исходный образцовый раствор фосфата. 0,192 г однозамещенного фосфата калия растворяют в 0,2 М HCl в мерной колбе до 1 л. Полученный раствор содержит 0,1 мг P₂O₅ в 1 мл.

Определение K₂O. Для определения калия используют 20 мл фильтрата, распыляя его в пламя фотометра. Используют красный светофильтр (766,5 и 769,9 нм). Допустимые расхождения результатов анализа в одной лаборатории при повторных определениях ±15%, в разных - ± 20 %.

Исходный образцовый раствор готовят из хлористого калия. 0,792 г KCl растворяют в 0,2 М HCl и доводят им объем до 1 л в мерной колбе. Полученный раствор содержит 0,5 мг K₂O в 1 мл.

Для приготовления рабочей шкалы образцовых растворов в мерные колбы емкостью 250 мл берут следующее количество исходного образцового раствора:

Исходный раствор KCl, мл	0	1	2	4	6	10	20	40
Содержание калия, соответствующее мг K ₂ O на кг почвы	0	10	20	40	60	100	200	400

Растворы в колбах доводят до метки 0,2 М HCl и используют для калибровки пламенного фотометра. В соответствии с полученными данными строят график для определения содержания подвижного калия в почвенных образцах по показаниям пламенного фотометра.

Реактивы. 0,2 М HCl.

Оборудование: технические весы с разновесом, колбы емкостью 100 или 200 мл, воронки, фильтры, фарфоровые тигли, мерные колбы на 25, 100 и 250 мл, пипетки на 5 мл, мерная литровая колба, фотоэлектроколориметр, пламенный фотометр.

Тема 3 Агрохимические показатели почв

- 1 Кислотность и щёлочность почвы
 - 2 Окислительно-восстановительные процессы в почвах
 - 3 Почвенные коллоиды и поглощательная способность почв
- Практическая часть

1 Кислотность и щёлочность почвы

Характерным свойством почвы является её реакция. Она проявляется при взаимодействии почвы с водой или растворами солей и определяется соотношением свободных ионов H^+ и OH^- в почвенном ионе. Концентрация свободных ионов H^+ выражается величиной рН, представляющей отрицательный логарифм концентрации ионов водорода; рН=7 характеризует нейтральную реакцию, рН<7 – кислую и рН>7 – щелочную.

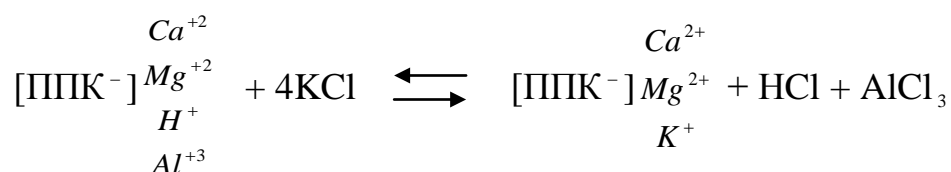
Реакция почвенного раствора в различных почвах колеблется от рН 3,5 до 8-9 и выше. Наиболее кислую реакцию имеют болотные почвы верховых торфяников. Кислой реакцией почвенного раствора характеризуются подзолистые и дерново-подзолистые почвы (рН 4-6); чернозёмы имеют реакцию, близкую к нейтральной; наиболее щелочная реакция у солончаков, особенно содовых (рН 8-9 и выше).

Кислотность почвы – способность почв подкислять воду и растворы нейтральных солей. Различают актуальную и потенциальную кислотность. Актуальной называется кислотность почвенного раствора, потенциальная кислотность характерна для твёрдой фазы почвы. Между актуальной и потенциальной кислотностью в почве сохраняется подвижное равновесие, но доминирующее значение во всех почвах имеет кислотность твёрдой фазы почвы.

Актуальная кислотность почвенного раствора зависит от наличия в нём свободных кислот, кислых солей и степени их диссоциации.

Потенциальная кислотность имеет сложную природу. Её носителем являются обменные катионы H^+ и Al^{+3} почвенных коллоидов. Различают 2 формы потенциальной кислотности: обменную и гидролитическую.

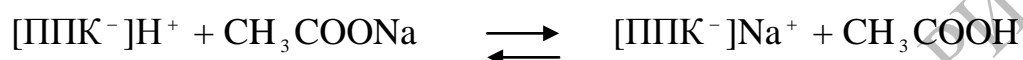
Обменная кислотность проявляется при обработке почвы раствором нейтральной соли:



Образующаяся в результате взаимодействия солевого раствора с почвой и гидролитического расщепления $AlCl_3$ соляная кислота

характеризует обменную кислотность. Обменная кислотность наиболее ярко выражена в подзолистых и краснозёмных почвах (рН 3-4). В почвах со слабокислой, нейтральной, а особенно со щелочной реакцией она не проявляется.

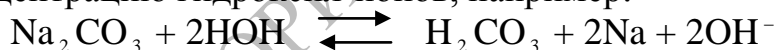
При обработке почвы раствором нейтральной соли вытесняются не все поглощённые ионы водорода. Более полно выявляется потенциальная кислотность при обработке почвы раствором гидролитически щелочной соли, например CH_3COONa . При обработке почвы раствором такой соли вследствие щелочной реакции (среды) происходит более полное вытеснение поглощённого водорода:



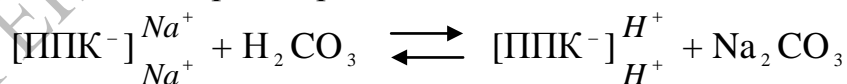
Количество выделившейся уксусной кислоты, определяемое титрованием, характеризует величину гидролитической кислотности. Она обычно больше обменной, т.к. при обработке почв раствором гидролитически щелочной соли вытесняется (помимо подвижных ионов) и менее подвижная часть поглощённых ионов водорода. Гидролитическая кислотность может рассматриваться как суммарная кислотность почвы, состоящая из актуальной и потенциальной кислотности.

Щёлочность почвы – способность почвы подщелачивать воду и растворы нейтральных солей. Различают актуальную и потенциальную щёлочность.

Актуальная щёлочность обуславливается наличием в почвенном растворе гидролитически щелочных солей (Na_2CO_3 , NaHCO_3 , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и др.), которые при диссоциации определяют преобладающую концентрацию гидроксил-ионов, например:



Потенциальная щёлочность обнаруживается у почв, содержащих поглощённый натрий. При взаимодействии такой почвы с угольной кислотой, находящейся в почвенном растворе, происходит реакция замещения, результатом которой является накопление соды и подщелачивание раствора:



Щёлочность почвенного раствора характеризуется в миллиграмм – эквивалентах кислоты, необходимой для нейтрализации ионов ОН^- раствора, обусловленных ионами HCO_3^- , CO_3^{2-} , или их суммой. Величину щёлочности также выражают показателем рН раствора или водной вытяжки, выделяя слабощелочную, при рН 7,2 - 7,5, щелочную (рН 7,6 – 8,5) и сильнощелочную (рН > 8,5) реакции.

Реакция почвенного раствора может меняться вследствие накопления

кислых продуктов разложения органических остатков, под влиянием выделения корнями растений угле – кислоты и H^+ - ионов, образования азотной кислоты при нитрифицирующей деятельности микроорганизмов. Реакция почвы может измениться при внесении минеральных удобрений. При этом изменение реакции на разных почвах будет неодинаково. На одних действие подщелачивающих или подкисляющих веществ будет проявляться больше, на других меньше вследствие разной буферной способности почв.

Буферной способностью, или буферностью, называют способность почвы противостоять изменению реакции почвенного раствора. Различают буферную способность почв против изменения реакции в сторону подкисления и буферную способность почв против изменения реакции в сторону подщелачивания. Буферность зависит от химического состава и ёмкости поглощения почвы, состава поглощённых катионов и свойств почвенного раствора. Буферность почв характеризуется числом миллилитров кислоты или щёлочи, которое необходимо прибавить, чтобы изменить концентрацию H^+ - ионов в почвенном растворе.

Всегда остаются пространства, образующие сложную сеть пор и канальцев. Эти отверстия имеют различную форму и диаметр, искривления; каналы нередко прерываются и заканчиваются тупиками. Поэтому почвой задерживаются не только частицы крупнее диаметра пор, но и более мелкие. Механическое поглощение увеличивается по мере заиливания почвы, после некоторого заполнения каналов частицами ее.

Механическая поглотительная способность зависит от гранулометрического и агрегатного состава почвы, а также от плотности сложения.

Почвенные суспензии с диаметром взмученных частиц более 0,001 мм полностью задерживаются глинистой почвой. Песчанистые и крупноагрегатные рыхлые почвы обнаруживают плохую механическую поглотительную способность. Благодаря механической поглотительной способности в мелких почвенных порах задерживаются отдельные микроорганизмы размером $>0,00025$ мм.

Механическая поглотительная способность широко используется в технике. Например, водоочистка производится фильтрованием воды через песчанистые отстойники; с помощью заиливания достигают уменьшения фильтрации воды через стенки и дно оросительных каналов (кольматаж).

Биологическая поглотительная способность – закрепление веществ в телах организмов. Оно осуществляется растениями, микроорганизмами и животными, обитающими в почве. Главная особенность биологического поглощения – избирательное усвоение из растворов с минимальным содержанием наиболее важных для организмов веществ в присутствии больших количеств остальных соединений. Благодаря этому в верхних горизонтах почв вместе с гумусом аккумулируются азот, фосфор, кальций

и ряд других химических элементов.

Физическая поглотительная способность (аполярная адсорбция) означает изменение (увеличение или уменьшение) концентрации молекул растворенного вещества в пограничном слое раствора, окружающем почвенные коллоиды. Она зависит от количества коллоидов почвы (то есть от механического состава и гумусированности последней), а также от их качества (первичные и глинистые минералы, органические коллоиды). Аполярная адсорбция обуславливается свободной поверхностной энергией почвенных частиц. Почва и находящийся в ней раствор представляют собой дисперсную систему, в которой твердые частицы являются дисперсной фазой, а раствор – дисперсионной средой. На границе соприкосновения почвенных частиц с дисперсионной средой проявляется свободная поверхностная энергия, измеряемая произведением поверхностного натяжения раствора на суммарную величину поверхности частиц. Чем выше степень дисперсности почвенных частиц, тем больше их поверхностная энергия. По мере измельчения частиц резко возрастает их общая и удельная поверхность. Например, при раздроблении куба с длиной ребра 1 см до величины 0,1 и, суммарная поверхность возрастает от 6 см² до 60 м². В слое почвы 20 см при содержании 10% коллоидных частиц суммарная поверхность почвенных частиц па 1 га составит 70 тыс. га. При такой большой поверхности величина поверхностной энергии будет значительной.

По физическим законам всякая дисперсная система стремится уменьшить свою поверхностную энергию. Это возможно лишь за счет укрупнения дисперсной фазы или уменьшения поверхностного натяжения.

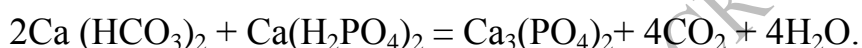
По отношению к воде, имеющей при 0° поверхностное натяжение 75,2 дин/см, растворенные вещества делятся на понижающие поверхностное натяжение и повышающие его. К последним относятся неорганические кислоты, основания, соли, а также органические соединения с большим количеством гидроксидов (например, сахара). Понижают поверхностное натяжение органические кислоты, спирты, алкалоиды и некоторые другие соединения. Вследствие стремления дисперсной системы к уменьшению поверхностной энергии происходит концентрация раствора органических кислот, спиртов, алкалоидов на границе раздела дисперсной фазы и дисперсионной среды, то есть проявляется положительная адсорбция названных соединений. Особенностью физической адсорбции является поглощение почвой целых молекул. Вещества, повышающие поверхностное натяжение, вызывают отрицательную адсорбцию: на границе раздела дисперсной фазы и дисперсионной среды проявляется более низкая концентрация по сравнению с остальным объемом раствор.

К веществам, повышающим поверхностное натяжение, относятся хлориды и нитраты. Вследствие отрицательной физической адсорбции они легко выносятся из почвы с водой, передвигающейся по профилю.

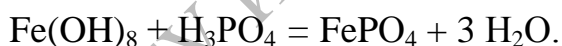
Вымывание хлоридов из почвенной толщи имеет положительное значение, так как избыток хлор-иона вреден для растений. Отрицательная адсорбция нитратов может привести к выносу их за пределы корнеобитаемого слоя.

Химическая поглотительная способность — это способность почвы закреплять в форме труднорастворимых соединений ионы, поступающие в раствор. Закрепление ионов в результате химического, поглощения происходит в том случае, когда в почвенном растворе содержится соль, образующая с веществами, находящимися в почве, труднорастворимое соединение.

Например, в почвах нейтральных или слабощелочных (чернозёмы, каштановые, сероземы и др.) вносимые фосфорнокислые удобрения (суперфосфат) закрепляются в ходе реакции с бикарбонатом кальция, находящимся в растворе:



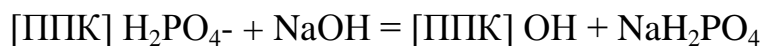
В почвах, имеющих кислую реакцию (красноземы, дерново-подзолистые), при наличии свободных гидратов окислов железа и алюминия может наблюдаться химическое поглощение фосфат-иона в результате образования труднорастворимых фосфатов железа и алюминия. Например:



Физико-химическая, поглотительная способность почв связана с адсорбцией ионов в двойном электрическом слое коллоидов. К. К. Гедройц называл физико-химическую поглотительную способность почв обменной. Если почву обработать раствором соли, то произойдет реакция между катионами растворенной соли и катионами, находящимися в слое компенсирующих ионов коллоидных мицелл. При этом эквивалентные количества катионов меняются местами, то есть катионы из раствора перейдут в слой компенсирующих ионов, а катионы из слоя компенсирующих ионов в раствор. *Совокупность почвенных соединений, способных к реакциям обменного поглощения, получила название почвенного поглощающего комплекса (ППК).* Главную часть ППК составляют коллоиды.

Катионы, находящиеся в компенсирующем слое коллоидных мицелл и способные к реакциям обмена, получили название поглощенных или обменных.

В случае положительного заряда коллоидов поглощенными ионами являются анионы. Например, если подействовать на красноземную почву, содержащую поглощенный фосфат-ион, раствором едкого натра, произойдет реакция:

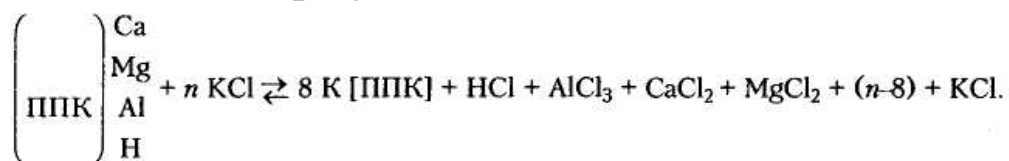


При взаимодействии почвенных коллоидов с растворами солей обмен катионов происходит с разной скоростью. Это объясняется неодинаковым положением поглощенных катионов на коллоидных частицах и разной их подвижностью. Различают экстрамицеллярное и интрамицеллярное поглощение катионов. При экстрамицеллярном поглощении катионы сорбируются на внешних поверхностях коллоидов, при интрамицеллярном – между слоями кристаллической решетки.

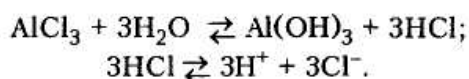
Подвижность катионов, поглощенных на внешних поверхностях коллоидов, очень высокая; они легко вытесняются катионами раствора, причем реакция обмена протекает мгновенно. Подвижность катионов, поглощенных интрамицеллярно, ниже. Такие катионы вытесняются труднее, а реакция обмена длится несколько суток.

Актуальная кислотность обозначается символом рН в H_2O (отрицательный десятичный логарифм концентрации ионов водорода) и обуславливается наличием свободных ионов водорода в почвенном растворе, потенциальная кислотность – наличием свободных и сорбированных ионов водорода в почвенном поглощающем комплексе (коллоидах), переходящих в солевую вытяжку.

Обменная кислотность (обозначается символом рН в КС1) вызывается менее связанными ионами водорода почвенного поглощающего комплекса (ППК), которые могут быть вытеснены в раствор катионами нейтральных солей (КС1):



При этом образуется гидролитически кислая соль AlCl_3 - Она диссоциирует с образованием дополнительного количества ионов водорода, подкисляющих почвенный раствор:



При внесении в почву калийных удобрений (КС1) обменная кислотность возрастает, что ведет к понижению урожайности сельскохозяйственных культур. Поэтому кислую почву необходимо известковать.

Гидролитическая кислотность обозначается символом Н, в отличие от обменной определяется путем обработки ППК почвы раствором

гидролитической щелочной соли (CH_3COONa). Натрий вытесняет из ППК больше ионов водорода и алюминия (чем при обработке почвы нейтральной солью KCl), поэтому величина гидролитической кислотности большая, чем обменной. Почвы могут иметь гидролитическую кислотность при отсутствии обменной. Гидролитическая кислотность используется для расчета дозы извести, обоснования возможности замены суперфосфата фосфоритной мукой.

Для лабораторий агрохимслужбы ЦИНАО рекомендован стандартный метод определения актуальной и обменной кислотности, обменного (подвижного) алюминия, кальция, магния, аммония, марганца и содержания нитратов в почвах. Стандарт не распространяется на анализ почв с $\text{pH} > 5,5$ при определении обменной кислотности и обменного алюминия, а также на анализ карбонатных и засоленных почв при определении обменного кальция, магния и марганца. Обменные катионы и нитраты извлекаются из почвы раствором 1 М KCl при отношении почвы к раствору 1:2,5. Определение pH проводят потенциометрическим методом; подвижного алюминия, магния, аммония, марганца, нитратов - фотоколориметрическим методом; обменной кислотности - потенциометрическим титрованием; кальция - трилонометрическим титрованием.

2 Окислительно-восстановительные процессы в почвах

В почве широко развиты окислительно-восстановительные процессы, в этом отношении ее можно рассматривать как сложную окислительно-восстановительную систему. Как известно, процессами окисления называются:

- 1) присоединение кислорода;
- 2) отдача водорода;
- 3) отдача электронов без участия водорода и кислорода.

Обратные процессы объединяются в понятие «восстановление». В общей схеме обычно окисление принято рассматривать как отдачу электронов, а восстановление — как их присоединение.

Окислительные процессы широко развиты при явлениях превращения органического вещества в почве. Так, в почве возможно окисление тирозина и других ароматических аминокислот в меланины; окисление смол и соединений непредельного ряда; окисление дубильных веществ, сахаров, аминокислот, белков и других соединений, входящих в состав растительных остатков. Гумификация представляет собой в целом процесс окислительный.

Большинство реакций окисления органических веществ почвы относится к группе необратимых.

Обратимыми окислительно-восстановительными реакциями являются

широко развитые в почве реакции окисления и восстановления железа, марганца, азота. В почве происходит окисление и восстановление кислорода и водорода, серы. Поскольку большая часть этих реакций имеет биохимическую природу и теснейшим образом связана с проявлением микробиологических процессов, то, естественно, интенсивность последних в почве непосредственно влияет и на развитие окислительно-восстановительных процессов.

Основным окислителем в почве выступает молекулярный кислород почвенного воздуха, почвенного раствора. Поэтому развитие окислительно-восстановительных процессов в почвах тесно связано с условиями их аэрации и, следовательно, зависит от всех свойств почвы, определяющих состояние газообмена (структура, плотность, механический состав и др.), и прежде всего от влажности.

Главными условиями, определяющими интенсивность и направленность окислительно-восстановительных процессов, являются состояние увлажнения и аэрации почв, а также содержание в них органического вещества и температура, при которой протекают биохимические реакции.

Ухудшение аэрации в результате повышения влажности почвы, ее уплотнения, образования корки и других причин ведет к снижению окислительно-восстановительного потенциала. Наиболее резко он падает в почвах при влажности, близкой к полной влагоемкости, когда нарушается нормальный газообмен почвенного воздуха с атмосферным. Так, резкое уменьшение потенциала в гумусовых горизонтах дерново-подзолистых почв наблюдается при увлажнении почвы выше 90% ее полной влагоемкости. При повышении влажности от 10 до 90% полной влагоемкости снижение потенциала идет медленно и постепенно.

И.П.Гречин в модельных опытах установил, что при пропускании через почву газовой смеси из 99,5% азота и 0,5% кислорода наблюдается развитие устойчивых восстановительных процессов, сопровождающихся интенсивным восстановлением нитратов и образованием значительных количеств закиси железа. При оптимальной температуре и влажности в пахотном горизонте дерново-подзолистой почвы переход от аэробных условий к анаэробным происходил при содержании кислорода в почвенном воздухе 2,5—5%.

В опытах М.В.Курлыковой под многолетними травами в суглинистой дерново-подзолистой почве при влажности ее выше 80% полной влагоемкости и пористости аэрации 6% наступил устойчивый анаэробно-биозис. Существенно влияют на окислительно-восстановительные процессы в почве содержание и формы органических веществ. Снижение потенциала при переувлажнении почвы быстро происходит только в гумусовых горизонтах. Свежее неразложившееся органическое вещество, богатое белками и растворимыми углеводами, являясь лучшим материалом

для жизнедеятельности микрофлоры, способствует интенсивному развитию восстановительных процессов в избыточно увлажненной почве.

Для количественной характеристики окислительно-восстановительного состояния почвы (так же как и других сред) пользуются определением величины окислительно-восстановительного потенциала, который отражает суммарный эффект разнообразных окислительно-восстановительных систем почвы в данный момент. Величина окислительно-восстановительного потенциала характеризуется по Петерсу следующим уравнением:

$$E_{ов} = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[\text{окисл.}]}{[\text{восст.}]} \text{ милливольт}$$

где R — универсальная газовая постоянная, в джоулях;
 T — абсолютная температура, в градусах;
 F — число Фарадея, в кулонах;
 n — число зарядов, переносимых одной частицей (ионом);
 $[\text{окисл.}]$ и $[\text{восст.}]$ — концентрация окислителей и восстановителей данной системы.

Потенциал системы, в которой активность окислителя и восстановителя одинакова и равна 1, называется нормальным потенциалом окислительно-восстановительной системы.

Окислительно-восстановительный потенциал по отношению к водороду называют Eh :

$$Eh = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[H^+]^2}{[H_2]}$$

Величину потенциала вычисляют к условно выбранному стандартному электроду; в электрохимии таким принят водородный электрод.

Как видно из уравнения, чем выше концентрация окислителя, тем больше потенциал.

Потенциал стандартного нормального водородного электрода, насыщенного при давлении в 1 атм. газообразным водородом и находящегося в равновесии с раствором, активность водородных ионов которого составляет единицу, условно считают равным нулю. Величина и знак потенциала любого электрода, применяемого при определении окислительно-восстановительного потенциала системы, сравниваются с водородным электродом. Так, например, потенциал насыщенного каломельного электрода, наиболее часто употребляемого в качестве электрода сравнения при измерении 0В-потенциала почв, равен по отношению к нормальному водородному электроду -J-250 мВ при 18° С. По отношению к нормальному водородному электроду формула (2) после подстановки числовых значений R , T и F и замены натуральных

логарифмов десятичными приобретает следующее выражение (для температуры 18° С):

$$Eh = 0,029 \lg \frac{[H^+]^2}{[H_2]} \text{ В}$$

При количественной характеристике окислительно-восстановительного состояния почвы через Eh величину ОВ-потенциала выражают в милливольтках.

Напряженность окислительно-восстановительных процессов в почвах в определенной мере связана с условиями реакции среды, с величиной рН, реакция среды влияет на интенсивность и направленность микробиологических процессов; от величины рН зависит переход в раствор компонентов некоторых окислительно-восстановительных систем почвы и т. п.

Для получения сравнимых данных по окислительно-восстановительным условиям в средах с различной величиной рН Кларк предложил ввести показатель rH_2 , который представляет собой отрицательный логарифм давления концентрации молекулярного водорода и вычисляется по формуле:

$$rH_2 = \frac{Eh}{30} + 2pH.$$

Таким образом, количественная характеристика окислительно-восстановительного состояния почвы может быть выражена через Eh в милливольтках и через условную величину rH_2 . Величина rH_2 выше 27 говорит о преобладании окислительных процессов. Для восстановительных процессов в почвах свойственна величина rH_2 меньше 27 (22—25); при интенсивном развитии восстановительных процессов она падает ниже 20. ОВ-потенциал в почвах измеряют платиновыми электродами. В качестве электрода сравнения используют каломельный электрод. Лучшие результаты получаются при измерении в поле. При изучении динамики ОВ-потенциала желательно иметь стационарно установленные по профилю почв электроды.

Проявление окислительно-восстановительных процессов в почве зависит от генетических свойств ее и от состояния водно-воздушного и температурного режимов, тесно связанных с гидротермическими условиями годового цикла развития почвы.

Поэтому различные почвы характеризуются своими особенностями в развитии окислительно-восстановительных процессов, в то же время все почвы имеют определенную сезонную динамику проявления этих процессов.

В подзолистых и дерново-подзолистых почвах нормального увлажнения величина ОВ-потенциала составляет 550—750 мВ, в черноземах —

400—600 мВ, в сероземах — 350—450 мВ. Наиболее низкие потенциалы у длительно затопляемых ночи рисовых полей и болотных почв. При падении величины Eh до 200 мВ и ниже начинается интенсивное развитие восстановительных процессов с типичными признаками гелеобразования.

Почвы нормального увлажнения имеют относительно выровненную величину ОВ-потенциала в течение вегетационного периода, хотя некоторое уменьшение и наблюдается во время повышенного увлажнения и наиболее интенсивного развития микробиологических процессов.

Наиболее контрастно динамика окислительно-восстановительных процессов выражена у почв с временным избыточным увлажнением. Такие почвы широко распространены среди подзолистых и дерново-подзолистых почв, солодей, солонцов.

В почвах нормального увлажнения величина rH_2 на протяжении вегетационного периода существенно не изменяется и характеризует господство в почве окислительных процессов. В такой почве не образуется заметного количества закисного железа. В почве с временным избыточным увлажнением весной устойчиво развиваются восстановительные процессы, о чем свидетельствуют низкие величины rH_2 и возникновение значительных количеств закисного железа.

Наиболее изменчивы показатели ОВ-потенциала в верхних, обогащенных органическим веществом, горизонтах, где наблюдается наибольшее колебание в увлажнении почвы и интенсивнее протекают микробиологические процессы. Нижние, бедные органическим веществом горизонты, где слабо развиты микробиологические процессы и; поэтому нет интенсивного расхода кислорода, обычно характеризуются! и более высокими показателями потенциала.

В минеральных почвах устойчивого грунтового заболачивания наименьший потенциал обычно наблюдается в нижних горизонтах.

Окислительно-восстановительные процессы оказывают большое влияние на почвообразовательный процесс и плодородие почв.

С этими процессами тесно связаны превращение растительных остатков, темпы накопления и состав образующихся органических веществ, а следовательно, и формирование профиля почв.

Избыточное увлажнение и низкие значения ОВ-потенциала замедляют разложение растительных остатков, способствуют образованию наиболее подвижных и активных форм органических веществ, переходу гуминовых кислот в фульвокислоты. С развитием окислительно-восстановительных процессов связано также превращение соединений азота, серы, фосфора, железа, марганца в почвах.

3 Почвенные коллоиды и поглощательная способность почвы

Один из важнейших свойств почвы является её поглощательная способность. Почва способна поглощать газы, пары воды и ряд веществ, растворённых в воде. Наиболее существенный вклад в разработку учения о поглощательной способности почвы уже в XX в. внёс крупнейший русский почвовед К.Гедройц, а также Г.Винер (Швейцария) и С.Матсон (Швеция). Поглощательная способность почвы неразрывно связана с наличием в ней высокодисперсных частиц – коллоидов, учение о которых создавалось в первой четверти прошлого столетия трудами М.Смолуховского, Е.Зигмонда, В.Оствальда, А.Думанского и Н.Пескова.

Коллоиды – двухфазные системы и состоят из дисперсионной фазы (массы коллоидных частиц) и дисперсной среды (почвенный раствор). Характерными особенностями почвенных коллоидов являются очень большая суммарная и удельная поверхность – поверхность почвенных частиц, выраженная в м^2 (или см^2) в единице массы (или объёма) почвы – и наличие двойного электрического слоя ионов на границе раздела между дисперсной фазой и дисперсной средой. Большая суммарная и удельная поверхности обусловлены высокой степенью дисперсности, вследствие чего масса коллоидной частицы относительно невелика по сравнению с её поверхностью. Эта особенность определяет высокую реакционную способность почвы.

Различают три группы коллоидов в почве: минеральные, органические и органо-минеральные.

Минеральные коллоиды представлены глинистыми минералами, коллоидными формами кремнезёма и полуторных окислов. Все глинистые минералы имеют кристаллическое строение, пластинчатую форму и являются типичными ацидоидами (содержат в диффузном слое катионы).

Органические коллоиды представлены в почве прежде всего гумусовыми кислотами и их солями (гуматами, фульватами, алюмо- и железогумусовыми соединениями). Все они типичные ацидоиды. К группе органических коллоидов относятся также белковые вещества, представленные в почве в основном плазмой микроорганизмов. Это типичные амфолитоиды, проявляющие себя в кислотной среде как базоиды, а в щелочной – как ацидоиды.

Органо-минеральные коллоиды широко распространены в верхних горизонтах всех почв. Они представляют собой комплекс переменного состава из высокодисперсных минералов и гумусовых кислот, гуматов, фульватов алюмо- и железогумусовых солей.

Поглощательная способность – способность почвы задерживать “соединениями части их, находящиеся в растворённом состоянии, а также коллоидально расплывлённые частички минерального или органического вещества, живые организмы и грубые суспензии” (К.К.Гедройц).

К.К.Гедройц выделил 5 видов поглотительной способности:

- *механическую* – свойство почвы, как всякого пористого тела, задерживать в своей толще твёрдые частицы крупнее, чем система пор;
- *физическую* – изменение концентрации молекул растворённого вещества на поверхности твёрдых частиц почвы;
- *физико-химическую, или обменную*, - способность обменивать некоторую часть катионов, находящихся в соприкасающемся с нею растворе;
- *химическую* – способность анионов твёрдых солей давать с катионами нерастворимые соли, выпадающие в осадок.
- *биологическую* – способность микроорганизмов и растений поглощать из почвенного раствора различные вещества.

Совокупность высокодисперсных частиц (твёрдых), способным к реакциям обменного поглощения, К.К.Гедройц назвал почвенным поглощающим комплексом (ППК).

Поглощение и закрепление веществ в твёрдой фазе почвы происходит различными путями. Наиболее существенным механизмом поглотительной способности почвы является сорбция – поглощение молекул и веществ, находящихся в растворе, почвенными коллоидами. Ряд исследователей выделяют хемосорбцию – химическую сорбцию ионов или молекул растворённого вещества на поверхности коллоидной частицы путём образования нерастворимых соединений. В почве имеют место процессы адгезии (склеивание) твёрдых частиц почвы с сорбированными на их поверхности или впавшими в осадок минеральными, органическими и органно-минеральными веществами.

Суммарное количество обменных катионов называется ёмкостью обменного поглощения катионов (ёмкостью поглощения почвы). В зависимости от состава обменных катионов К.К.Гедройц разделил все почвы на 2 группы: почвы, насыщенные основаниями, в составе обменных катионов которых присутствуют ионы кальция, магния и натрия, и почвы, ненасыщенные основаниями, содержащие наряду с катионами кальция и магния катионы водорода и алюминия.

Поглотительная способность почвы относится к одному из наиболее существенных её свойств, т.к. она участвует в процессах почвообразования и развития плодородия. Поглотительная способность регулирует питательный режим почвы, обуславливая накопление многих элементов питания растений и микроорганизмов, она же регулирует реакцию почвы, степень её буферности, вводно-физические свойства.

Поглощение почвами катионов. Катионы в почвах поглощаются в результате реакций химического осаждения, обменного замещения в слое компенсирующих ионов, а также вследствие необменного закрепления в слое потенциалопределяющих ионов.

Поглощение катионов в реакциях химического осаждения

наблюдается при взаимодействии соединений, находящихся в почве, с соединениями почвенного раствора. Условием такого закрепления является образование труднорастворимых солей.

Обменное и необменное поглощение катионов зависит от их свойств, свойств коллоидов ПИК почвы, а также от свойств растворов, взаимодействующих с почвой.

Обменное поглощение катионов. При обменном поглощении способность катионов внедряться в компенсирующий слой ионов неодинакова. Из наиболее распространенных в почве обменных катионов – Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Al^{3+} и H^+ - способность поглощения возрастает с увеличением атомного веса и валентности катионов.

По степени (энергии) поглощения наиболее распространенные в почвах катионы располагаются в таком возрастающей порядке: натрия, аммоний, калий, магний, кальций, алюминий. Степень поглощения водородного иона особенно велика. Она в 4 раза больше, чем у кальция, и в 17 раз больше, чем у натрия. Зависимость между валентностью и способностью к поглощению может быть объяснена тем, что двух- и трехвалентные катионы образуют с анионами потенцилоопределяющего слоя (OH^- , COO^- , SiO_3^{2-} , AlO_2^- и др.) соединения, менее диссоциированные, чем одновалентные катионы.

Способность катионов к поглощению обуславливается также размером их гидратационных оболочек. Так как у ионов одинаковой валентности плотность электрического напряжения на поверхности тем больше, чем меньше ион, то ионы, с малым радиусом гидратируются сильнее, чем крупные.

Большая гидратационная оболочка ослабляет сорбционную способность катионов. Поэтому среди одновалентных катионов натрия (ионный радиус 0,98 Å) поглощается слабее калия (ионный радиус 1,33 Å). У двухвалентных катионов кальций, имеющий более крупный ионный радиус (1,06 Å), поглощается сильнее магния (ионный радиус 0,78 Å). Ион водорода в водном растворе присоединяет одну молекулу воды и образует гидроксоний (H_3O^+ , ионный радиус 1,35 Å). Гидроксоний поглощается почвенными коллоидами сильнее, чем другие одновалентные ионы. Катионы, лучше поглощающиеся почвой, удерживаются ею с большей силой, так как имеют больший электрический заряд и сильнее притягиваются почвенными коллоидными частицами.

Среди поглощенных катионов важная роль принадлежит кальцию, который характеризуется высокой способностью к внедрению в ППК и трудностью вытеснения из него.

Исключительной способностью к внедрению в ППК объясняется возможность поглощения иона гидроксония из почвенного раствора, где концентрация водорода чрезвычайно мала. Ион натрия поглощается коллоидами лишь в условиях значительной концентрации в почвенном

растворе. Катионы аммония и калия имеют большую способность к внедрению в ППК, чем натрий. Возможность поглощения почвой катионов железа и алюминия ограничивается слабой растворимостью их солей в почвенном растворе. Кроме свойств катионов, важную роль в явлениях обменного поглощения играет минералогический и химический состав почвенных коллоидов.

В природных условиях реакция обмена катионов, поглощенных коллоидами, на катионы почвенного раствора идет менее интенсивно, чем в лабораторных условиях, что объясняется малым количеством раствора и агрегированностью коллоидных частиц.

Подвижность обменных катионов связана также со степенью насыщенности ими почвы. С уменьшением насыщенности почвы этими катионами подвижность их падает. Благодаря относительно высокой подвижности обменные катионы доступны для растений и микроорганизмов, которые играют важную роль в их питании.

Необменное поглощение катионов. В почвах, помимо обменных катионов, может содержаться некоторое количество необменнопоглощенных, или фиксированных, катионов, которые не вытесняются при обработке почвы растворами нейтральных солей. Прочно удерживаемые коллоидами необменнопоглощенные катионы труднодоступны для растений и микроорганизмов. Наиболее выраженной способностью к необменному поглощению отличаются одновалентные ионы, имеющие большой радиус, — калий и аммоний. По С. Н. Алешину (1952), необменнопоглощаться способен ион водорода. Необменное поглощение катионов происходит к слое потенциалопределяющих ионов. По прочности связи эти катионы занимают промежуточное положение между катионами кристаллической решетки и обменными катионами.

Прочность закрепления катионов в почве не абсолютно постоянна. Возможен переход катионов почвенных коллоидов из одного состояния в другое: катионы кристаллических решеток на катионы необменные, либо катионы обменные на катионы почвенного раствора. Способствуют переходу в необменнопоглощенное состояние высушивание почвы и особенно неоднократное высушивание и увлажнение. Калий из обменного состояния в необменное может переходить в результате старения и частичной кристаллизации почвенных коллоидов.

Способность почв к необменному поглощению катионов зависит от минералогического состава коллоидной фракции. Например, основными минералами, поглощающими калий и аммоний в необменной форме, являются монтмориллонит, иллит и вермикулит, то есть минералы с расширяющейся кристаллической решеткой.

Каолинит поглощает катионы в необменной форме слабее; необменное поглощение калия и аммония также обуславливается содержанием гумусовых веществ.

У высокогумусных почв (черноземов) оно выражено значительно сильнее, чем у малогумусных (дерново-подзолистых). В верхних, наиболее гумусированных горизонтах почв необменный аммоний составляет 1,5—8% от валового азота. На необменную фиксацию оказывает влияние механический состав почв. Более тяжелые почвы способны больше поглощать катионы.

Необменное поглощение обуславливается также степенью окультуренности почв. Хорошо окультуренные почвы содержат больше фиксированных катионов, что связано с увеличением количества коллоидов, которые могут необменно поглощать ионы. Однако способность к дополнительной фиксации катионов у них выражена меньше, чем у слабоокультуренных почв.

Состав обменных катионов и емкость поглощения почв. Благодаря разнообразию, природных условий и особенностей почвообразовательного процесса состав обменных катионов различных почвенных типов неодинаков. Так, обменными катионами в черноземах являются преимущественно кальций и магний. Подзолистые и дерново-подзолистые почвы содержат, кроме кальция и магния, обменные водород и алюминий. Для солонцов и солонцеватых почв характерно наличие среди обменных катионов поглощенного натрия. У красноземов в числе обменных катионов преобладают алюминий и водород.

По К. К. Гедрцу, все почвы в зависимости от состава поглощенных катионов делятся на насыщенные и не насыщенные основаниями. Насыщенные основаниями почвы в составе поглощенных катионов не содержат водорода и алюминия (черноземы обыкновенные и южные, каштановые и некоторые другие). Не насыщенные основаниями почвы содержат, кроме кальция и магния, поглощенные водород и алюминий (подзолистые, дерново-подзолистые, красноземные и некоторые другие).

Алюминий, обладающий амфотерными свойствами, после вытеснения из почвы дает соль слабого основания и сильной кислоты. После гидролитического расщепления этой соли выделяется кислота, которая обуславливает наряду с поглощенным водородом величину потенциальной кислотности почв, не насыщенных основаниями.

Почвы и отдельные горизонты их существенно отличаются по количеству поглощенных катионов. Поглотительную способность почв характеризуют суммой поглощенных оснований и емкостью поглощения. *Суммой поглощенных оснований (S) называют общее количество поглощенных оснований Ca, Mg, Na, K, NH₄. Суммарное количество способных к обмену поглощенных катионов называется емкостью поглощения почвы (E).* Сумма поглощенных оснований и емкость поглощения выражаются в миллиграмм-эквивалентах на 100 г почвы.

Емкость поглощения почв колеблется в широких пределах. Она зависит от содержания гумуса, механического и минералогического

состава почв, а также от реакции почвенного раствора. Почвы тяжелые имеют более высокую емкость поглощения, чем почвы легкие.

Вследствие неодинакового строения кристаллической решетки различные минералы характеризуются разной емкостью поглощения катионов (табл.).

Таблица Строение кристаллической решетки и емкость поглощения катионов глинистых минералов (по Н. П. Ремезшву, 1957)

Минерал	Тип решетки	Выраженность изоморфного замещения	Емкость поглощения, в мг-экв. на 100 г почвы
Каолинит	1:1	Нет	5 – 10
Мусковит	2:1	Замещение есть	20 – 40
Монтмориллонит	2:1	Замещение выражено	Около 100

Органические коллоиды почвы способны поглощать катионов в несколько раз больше по сравнению с минеральными. Поэтому чем больше гумуса в почве, тем выше емкость поглощения катионов.

Влияние реакции на величину емкости поглощения связано с поведением амфолитондов и активацией H^+ -ионов многоосновных кислот. В кислой среде амфолитоиды ведут себя как базойды и тем самым снижают поглотительную способность почвенного поглощающего комплекса по отношению к катионам. В щелочной среде (рН 8—9) активируются водородные ионы фенолгидроксильных групп гуминовых кислот.

Установлено, что емкость поглощения увеличивается в результате окультуривания почв.

Состав и соотношение поглощенных оснований оказывают существенное влияние на агрономические свойства почв и урожай растений. Для различных культур, развивающихся на разных почвах, характерны свои оптимальные соотношения катионов в ППК. Избыточное содержание поглощенных водорода, алюминия и натрия вызывает неблагоприятные изменения в реакции почвенного раствора. Избыток поглощенного магния увеличивает общую щелочность почвенного раствора, что приводит к снижению подвижности азота и фосфора в почве. В сероземах для развития проса наилучшим соотношением кальция и магния является 79% : 21% (П. Н. Беседин, 1964). Общее количество обменных оснований, так же как и величина емкости поглощения, оказывает непосредственное влияние на урожай сельскохозяйственных культур. Это влияние наиболее сильно сказывается на легких почвах. Значительное содержание поглощенного натрия угнетает культурные растения. Вместе (у тем небольшое количество обменного натрия стимулирует развитие сахарной свеклы, повышает устойчивость пшеницы к полеганию и заболеванию ржавчиной

(А. Н. Соколовский, 1956).

Состав поглощенных катионов существенно влияет на физико-химические свойства почвы (рН), подвижность органических веществ и степень дисперсности минеральной части почвы.

Состав и соотношение обменных катионов оказывают значительное влияние на агрегатность почвы и ее физические свойства. Почвы, насыщенные кальцием и магнием, отличаются агрономически ценной водопропрочной структурой. Солонцовые почвы, содержащие 20—30% обменного натрия от емкости поглощения, имеют неблагоприятную в агрономическом отношении столбчатую и глыбистую структуру. Липкость почв, в которых более 20% поглощенного натрия, в 3—4 раза выше, чем почв, насыщенных кальцием и магнием. Связность почв (их сопротивление обработке) особенно велика у солонцовых почв.

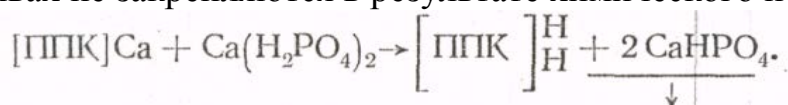
Поглощение почвами анионов. Поглощение анионов обуславливается рядом факторов, прежде всего особенностями самих анионов, составом почвенных коллоидов, их электрическим потенциалом и реакцией среды.

Нитраты и хлориды не образуют труднорастворимых солей и поэтому в почвах не закрепляются в результате химического поглощения. Сульфат-ион поглощается почвами в небольшом количестве. Поглощение фосфатов — явление, широко распространенное в природных условиях.

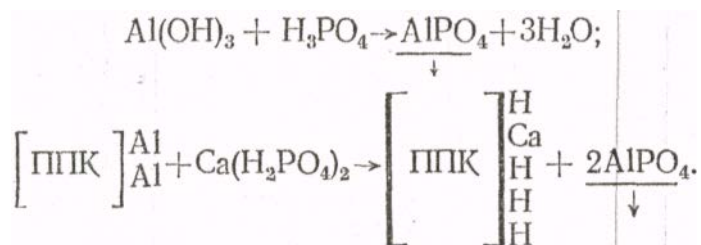
Состав почвенных коллоидов в значительной мере влияет на поглощение анионов. Чем больше в почве глинистых минералов и коллоидов с базоидными свойствами, тем больше анионов она способна поглотить.

Реакция среды изменяет электрический потенциал коллоидов. Подкисление среды способствует большому поглощению анионов; подщелачивание — наоборот. Черноземы, характеризующиеся реакцией, близкой к нейтральной, поглощают меньше анионов, чем кислые подзолистые и особенно красноземные почвы (табл. 37).

Особенности поглощения анионов. Поглощение анионов в природных условиях проявляется в нескольких формах. Различают химическое, физико-химическое и биологическое поглощение анионов, а также осаждение их в результате механического захвата при коагуляции коллоидов. Нитраты и хлориды не образуют труднорастворимых солей, и поэтому они в почвах не закрепляются в результате химического поглощения.



В кислых почвах фосфаты поглощаются при взаимодействии с ионами железа, алюминия и марганца. Химическое осаждение фосфатов протекает по следующим схемам:



Сульфат-ион дает с кальцием труднорастворимое в воде соединение, то есть поглощается химически. Реакции химического осаждения имеют большое значение в поглощении фосфат-ионов. Они закрепляются в почвах в форме высокоосновных фосфатов Ca и Mg. Образование труднорастворимых основных фосфатов кальция возможно в почвах с реакцией, близкой к нейтральной, в результате обмена с катионами кальция, находящимися в диффузном слое почвенных коллоидов:

Фосфаты в природных условиях также поглощаются в результате физико-химической адсорбции. В адсорбции фосфатов участвуют амфотерные почвенные коллоиды (гидраты окислов железа и алюминия, почвенные белки), а также некоторые глинистые минералы.

Обменное поглощение фосфат-иона амфотерными коллоидами наиболее ярко выражено у кислых почв (дерново-подзолистые, красноземы). Аморфные гидраты окислов алюминия и железа отличаются значительно большей способностью к поглощению фосфатов по сравнению с кристаллическими гидроокислами железа и алюминия, так как последние имеют меньшую поверхность.

Глинистые минералы могут физико-химически поглощать фосфат-ионы благодаря наличию в кристаллической решетке гидроксил-ионов, способных к реакциям обмена. Гидроксил-ионы оказываются в диффузном слое коллоидных частиц в местах излома минералов. В. М. Ключковский и Н. В. Каширкина (1950) считают возможным; для каолинита обмен фосфат-ионов на гидроксил-ион не только на изломах кристаллов, но и на поверхности октаэдрического слоя. Для монтмориллонита, у которого октаэдрический слой закрыт с обеих сторон тетраэдрическими слоями, такое поглощение невозможно.

Ряд авторов объясняют поглощение анионов амфотерными свойствами органических коллоидов (белковые соединения почвы). Ф. Фюр и Бромнер (1961) допускают возможность фиксации нитридного азота органической частью болотных и минеральных почв.

Органические коллоиды играют в поглощении анионов менее заметную роль по сравнению с минеральными.

Более гумусированные почвы, содержащие много органического вещества (черноземы, дерново-карбонатные), адсорбируют фосфат-ионы слабее, чем малогумусные.

Емкость поглощения анионов. Размеры поглощения анионов обусловлены составом коллоидов, их строением и степенью дисперсности.

Адсорбционная способность глинистых минералов по отношению к фосфат-иону зависит от процентного содержания несиликатных окислов железа и алюминия (R_2O_3), а также от величины отношения $SiO_2:Al_2O_3$. Так как несиликатных R_2O_3 в большинстве почв мало, то главная роль в поглощении фосфат-иона принадлежит глинистым минералам. Чем больше в коллоидах SiO_2 и чем меньше соотношение $SiO_2:Al_2O_3$, тем выше способность коллоида к адсорбции фосфатов. Например, в монтмориллоните отношение $SiO_2:Al_2O_3=4$, тогда как у каолинита оно равно двум, поэтому каолинит значительно больше поглощает фосфат-иона по сравнению с монтмориллонитом после выравнивания степени дисперсности путем растирания. С увеличением степени дисперсности (после растирания) поглощение анионов резко возрастает.

Изменение реакции среды оказывает большое влияние на поглощение анионов почвенными коллоидами. Например, поглощение фосфат-иона в подзолистой почве увеличивается в 6 раз при подкислении раствора с pH 7,3 до pH 3,5 (С. Г. Рыдкий, 1935). В щелочной среде молекулы фосфорнокислой соли могут быть поглощены необменно: фосфат-ион адсорбируется в потенциалопределяющем слое отрицательно заряженных амфолитоидов, а связанный с ним катион становится в слой противоионов (С.Н.Иванов, 1962). При поглощении фосфат-иона в потенциалопределяющем слое увеличивается физико-химическое поглощение катионов. Установлено, что органические пленки, обволакивающие минеральные агрегаты, предохраняют почву от необменного поглощения фосфатов.

Для анионов, как и для катионов, можно вычислить емкость поглощения. Емкостью поглощения анионов называется суммарное количество способных к обмену поглощенных анионов. Эта величина выражается в миллиграмм-эквивалентах на 100 г почвы. Отношение количества содержащихся в почве обменных анионов (A) к емкости поглощения анионов (E_A), выраженное в процентах, представляет собой степень насыщенности почв анионами:

$$V_A = \frac{A \cdot 100}{E_A} \cdot$$

Анионы почвой поглощаются тем интенсивнее, чем выше концентрация раствора, действующего на почву.

Прочность закрепления анионов и прежде всего фосфат-иона играет важную роль в агрономической практике. Наиболее прочно связаны с почвой фосфат-ионы, поглощенные в результате химического осаждения. Легче других обмениваются на другие ионы фосфат-ионы, адсорбированные физико-химическим путем.

Состав, строение и свойства почвенных коллоидов. Коллоидами называют частицы размером от 0,2 до 0,001 μ . Эти частицы проходят через

обычные фильтры, не оседают в воде, обнаруживают броуновское движение и имеют ряд других свойств. В воде они образуют коллоидные растворы, или системы. Последние отличаются как от истинных (молекулярных) растворов (частицы $< 0,001 \mu$), так и от грубых суспензий (частицы крупнее 1μ) - коллоидные свойства начинают проявляться у частиц меньше 1μ . Поэтому выделяют предколлоидную фракцию, объединяющую частицы от 1 до $0,2 \mu$.

В природных условиях коллоидные частицы образуются двумя путями – конденсационным и дисперсионным. В первом случае коллоидные частицы возникают вследствие физического или химического соединения молекул или ионов. Дисперсионное образование коллоидных частиц происходит при механическом или химическом раздроблении более крупных частиц.

Состав почвенных коллоидов. Почвенные коллоиды делятся на минеральные, органические и комплексные (органо-минеральные). Минеральная часть почвенных коллоидов состоит из небольшого количества тонкодисперсных первичных минералов, главным образом кварца и слюд, и в преобладающем большинстве из вторичных минералов. «Последние разделяются по строению на кристаллические и аморфные.

Вторичные кристаллические минералы чаще всего представлены группой гидрослюдов (иллит, гидробиотит), группой монтмориллонита (монтмориллонит, бейделлит, нонтронит), группой каолинита (каолинит, галлуазит) и группой полуторных окислов (гетит, гиббсит и др.). К вторичным аморфным минералам относятся гидраты окиси железа, алюминия и кремния.

В различных почвах соотношение между кристаллическими и аморфными коллоидами неодинаково. Для большинства почв минеральные кристаллические коллоиды составляют 87- 90%, а аморфные — 10 - 13% (А.Ф.Тюлин, 1950). Минеральные коллоиды различаются по степени раздробленности, или дисперсности. Самой высокой дисперсностью отличаются минералы группы монтмориллонита.

Органо-минеральные коллоидные комплексы представлены преимущественно соединениями гумусовых веществ с глинистыми и другими вторичными минералами.

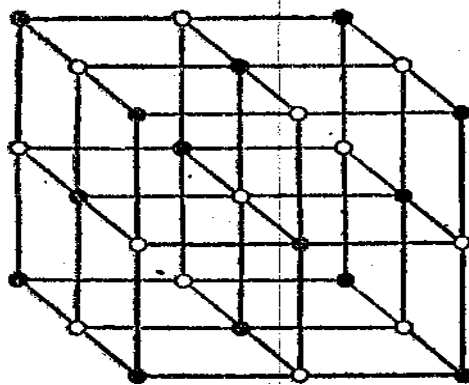


Рис. 6 – Кубическая кристаллическая решётка бромистого серебра

° - ионы Br;

• - ионы Ag* кислотами, фульвокислотами и их солями.

Строение почвенных коллоидов. Почвенные коллоиды вследствие высокой дисперсности характеризуются большой поверхностной энергией. При взаимодействии почвенных коллоидов (дисперсной фазы) с водой (дисперсионная среда) в системе возникают электрические силы. Вокруг коллоидных частиц в растворе образуется двойной электрический слой, состоящий из противоположно заряженных ионов.

Представление о генезисе двойного электрического слоя можно получить на примере простейшего кристаллического коллоида — бромистого серебра, имеющего кубическую решетку (по Г. Вигнеру, 1929). Каждый ион, расположенный внутри нее, связан с шестью соседними ионами противоположного заряда. Он полностью уравнивает свою атомную энергию и находится в состоянии покоя. На поверхности решетки ионы связаны менее чем с шестью противоположно заряженными ионами, и поэтому их электрические заряды компенсированы не полностью: на гранях у ионов остается несвязанной $1/6$ их валентности, на ребрах — $2/6$ а в углах решетки — $3/6$. Неизрасходованные части валентности («остаточные валентности»), увеличивающиеся при раздроблении вещества, обуславливают появление электрического поля, притягивающего ионы из раствора, то есть поглощающего их. Если кристалл притягивает из раствора равное количество катионов и анионов, то наблюдается его рост. В растворе создаются условия, когда кристалл поглощает преимущественно катионы или анионы. Закрепляются те ионы, которые образуют при взаимодействии с ионами решетки труднорастворимые соединения. Например, если в растворе будут находиться ионы Ag^+ и NO_3^- то будет преимущественно присоединяться Ag^+ и возникнет труднорастворимое соединение AgBr ; если же в растворе будут ионы K^+ и Br^- то произойдет присоединение Br^- . В результате вокруг коллоида возникает слой катионов или анионов, поглощенных из окружающего раствора и удерживаемых остаточными валентностями ионов, распо-

ложенных на поверхности решетки. Каждый притягиваемый ион несет электрический заряд, который не полностью расходуется на связь с поверхностными ионами кристаллической решетки. Остающийся избыток электрической энергии сообщает кристаллу (коллоиду) электрический заряд. Величина его тем выше, чем больше присоединено ионов и выше их валентность.

Ионы, закрепленные на коллоиде силами остаточных валентностей, составляют внутренний электрический слой частицы. Он получил название потенциалопределяющего слоя. В результате различия зарядов коллоида с потенциалопределяющим слоем и окружающего раствора возникает разность потенциалов, которая носит название электростатического или термодинамического потенциала.

И. Горбунов (1948) предложил обобщенную схему строения коллоидной мицеллы (рис. 7). Вокруг ее ядра прочно удерживается (преимущественно ковалентной связью) слой ионов, несущий заряд — слой потенциалопределяющих ионов. Ядро мицеллы вместе со слоем потенциалопределяющих ионов называется гранулой.

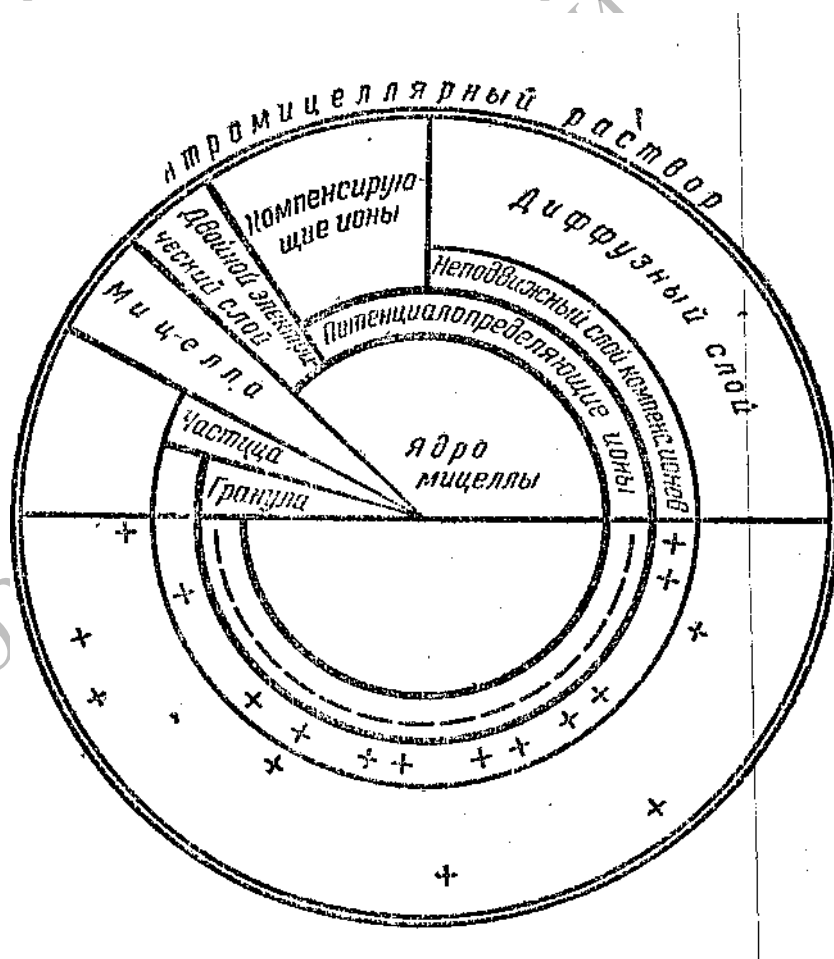


Рис. 7. Схема строения коллоидной мицеллы (по П. И. Горбунову)

Между гранулой и раствором, окружающим коллоид, возникает электрический потенциал, под влиянием которого из раствора притягиваются ионы противоположного знака (компенсирующие ионы). Они располагаются вокруг гранулы двумя слоями. Один — неподвижный слой — прочно удерживается электростатическими силами потенциалопределяющих ионов.

Гранула вместе с неподвижным слоем компенсирующих ионов называется коллоидной частицей. Между нею и окружающим раствором возникает электрокинетический потенциал, под влиянием которого находится второй слой компенсирующих ионов — диффузный слой.

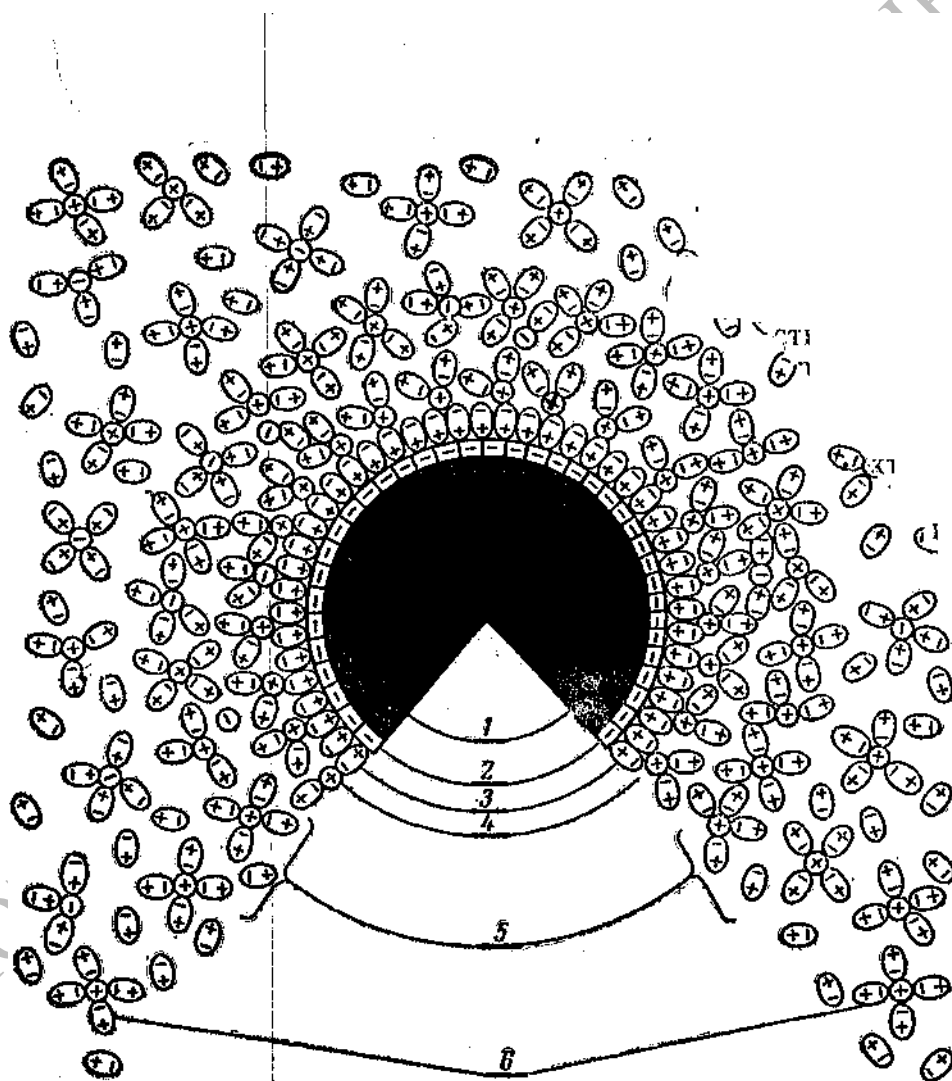


Рис. 8. Схема строения двойного электрического слоя вокруг дисперсной частицы (по С. Н. Алешину):

- 1 — ядро;
- 2 — слой потенциалопределяющих ионов;
- 3 — адсорбционный слой воды;
- 4 — прочносвязанный слой противоионов (обменные ионы);

- 5 — подвижный (диффузный) слой противоионов;
6 — интермицеллярная жидкость.

В приведенной схеме коллоидной мицелле для наглядности придана шарообразная форма. В действительности коллоидные частицы имеют вид пластинок, дисков, палочек, иголок. Структура расположения внешних слоев ионов у них более сложна. Она может быть представлена в виде роя облака ионов.

Коллоидная мицелла характеризуется электронейтральностью. Но в связи с тем, что основная масса ее принадлежит грануле, заряд последней рассматриваемся как заряд всего коллоида. Отрицательно заряженные гранулы имеют большинство глинистых минералов, коллоидная кремнекислота, органические коллоиды. Заряд гранул гидроокисей железа и алюминия в кислой среде положительный.

В природных условиях заряд на поверхности коллоида возникает либо присоединением ионов, либо их диссоциацией в окружающую среду.

С. Н. Алешин на основании представлений А. В. Думанского (1948) о строении коллоидной мицеллы дал следующее объяснение возникновению заряда при диссоциации ионов. Твердая частица заряжается отрицательно вследствие частичной диссоциации ею щелочных и щелочноземельных катионов в жидкую дисперсионную среду. Эти катионы и образуют слой противоионов. Благодаря высокому потенциалу электрического поля, созданного слоем потенциалопределяющих ионов, около поверхности гранулы формируется слой ориентированных (дипольных) молекул воды. Он лишь незначительно понижает электрический потенциал поля, и поэтому за слоем воды образуется слой противоионов.

В двухслойных минералах группы каолинита и в трехслойных группы монтмориллонита катионы могут присоединяться в результате возникновения электрического заряда при освобождении валентностей краевых ионов кислорода на местах разрыва связей. Отрицательные заряды могут появляться на поверхности пластинок таких коллоидов вследствие изоморфного замещения четырехвалентного кремния трехвалентным алюминием, а также алюминия двухвалентными катионами — железом, магнием (рис. 9). У гидрослюд заряды возникают в результате изоморфного замещения ионов в кристаллической решетке. Коллоидная кремнекислота является устойчивым отрицательно заряженным коллоидом, в котором электрический потенциал создается благодаря диссоциации ионов водорода (рис. 10).

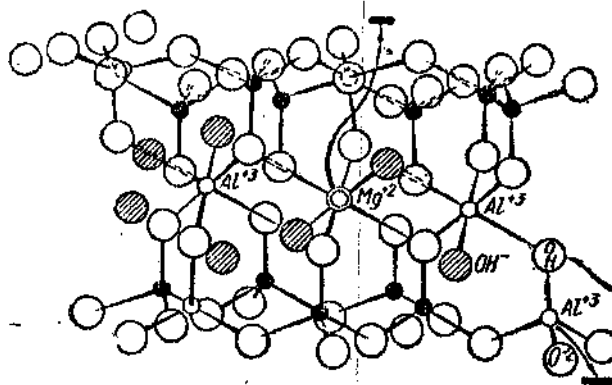


Рис. 9. Схема появления свободных отрицательных зарядов в решетке монтмориллонита в результате замещения алюминия магнием, кремния алюминием (по Ф.В.Чухрову).

Коллоиды органической природы (гуминовые кислоты и фульвокислоты) способны присоединять катионы благодаря наличию функциональных групп, диссоциирующих водород, таких, как карбоксильные (COOH) и фенолгидроксильные (OH).

Наибольшей способностью к диссоциации обладает водород карбоксильной группы, затем фенолгидроксильной. Электрический заряд, возникающий вследствие диссоциации ионов водорода у молекул гумусовых кислот, компенсируется присоединением катионов из окружающего раствора.

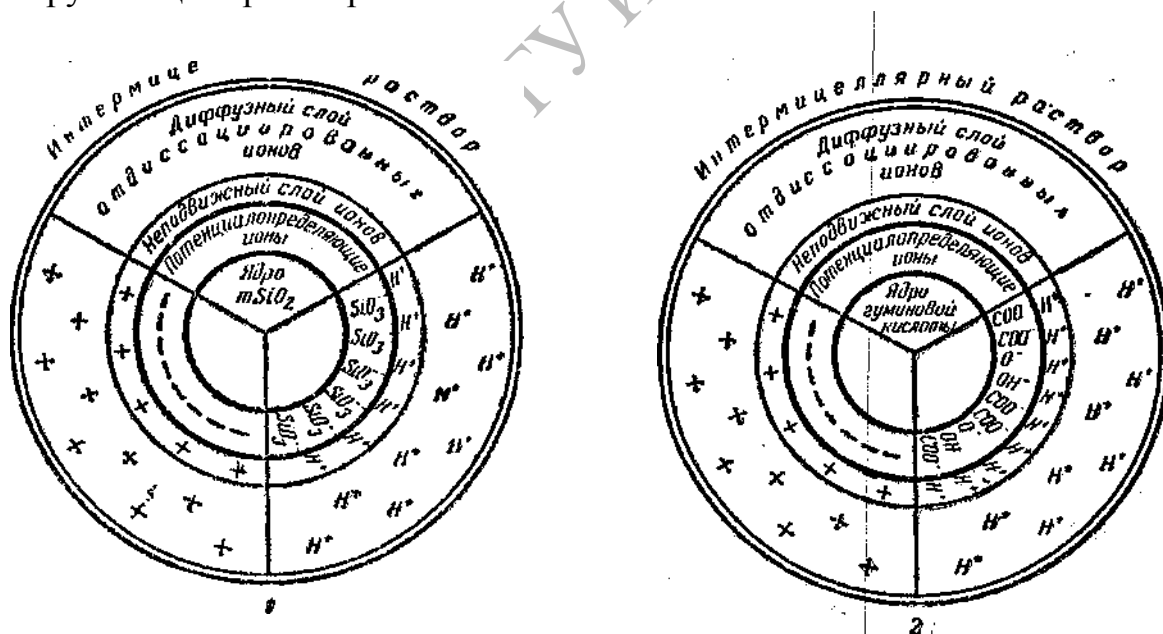


Рис.10. Схема строения мицелл: 1 — кремнекислоты; 2 — гуминовой кислоты (по Н. И. Горбунову)

Свойства почвенных коллоидов. Одним из важнейших свойств коллоидов является их способность в определенных условиях

диссоциировать в окружающий раствор ионы, удерживаемые кинетическими силами. В зависимости от знака заряда коллоиды делятся на ацидоиды и базоиды. Ацидоидами называются коллоиды, имеющие отрицательный заряд и диссоциирующие в раствор H^+ -ионы. Такие коллоиды характеризуются кислотоподобными свойствами. К группе ацидоидов относятся коллоидная кремнекислота, гуминовые кислоты, фульвокислоты и кристаллические глинистые, минералы.

Базоидами называются коллоиды, несущие положительный заряд и диссоциирующие в раствор OH^- ионы то есть обладающие свойствами оснований. К группе базоеидов относятся гидраты окислов железа и алюминия, а также белковые соединения.

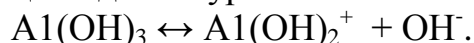
Степень диссоциации ионов, величина электрического заряда, знак заряда коллоидов зависят от реакции среды. В щелочной среде противоионами являются катионы, и благодаря лучшей диссоциации потенциал коллоидов повышается. В кислой среде коллоидная кремнекислота, гуминовые кислоты и фульвокислоты слабо диссоциируют, вследствие чего их электрический потенциал очень небольшой. У глинистых минералов электрический заряд значительно увеличивается в щелочной среде (табл.).

Таблица – Увеличение дзета-потенциала глинистых минералов при повышении pH (по Bergna, 1951)

Минералы	pH	Дзета-потенциал, мВ
Каолинит	4—10,8	23—52
Иллит	4—8,8	30—60
Монтмориллонит	5—7,3	40—51

Некоторые коллоиды могут менять знак своего заряда. По С. Маттсону (1938), коллоидная мицелла представляет собой агрегат, у которого на поверхности находятся ионогенные группы. Амфотерные коллоиды (гидраты окислов железа, алюминия, белки), а также комплексные, состоящие из кристаллических коллоидов, покрытых пленкой аморфных веществ, имеют на поверхности группы, которые в зависимости от реакции раствора ведут себя то как кислоты, то как основания. Коллоиды с двойственной природой называются амфолитоидами. Способность к диссоциации амфотерных коллоидов подчинена правилу: когда в растворе находятся два соединения, диссоциирующие один и тот же ион, они взаимно подавляют диссоциацию друг друга. В условиях кислой реакции в растворе находится много ионов водорода и мало гидроксил-ионов, отчего подавляется диссоциация водорода. Например, в таких условиях гидроокись алюминия ведет себя

как основание и диссоциация идет по уравнению:



В условиях щелочной реакции в растворе проявляется высокая концентрация гидроксил-ионов, что приводит к подавлению диссоциации OH^- ионов.

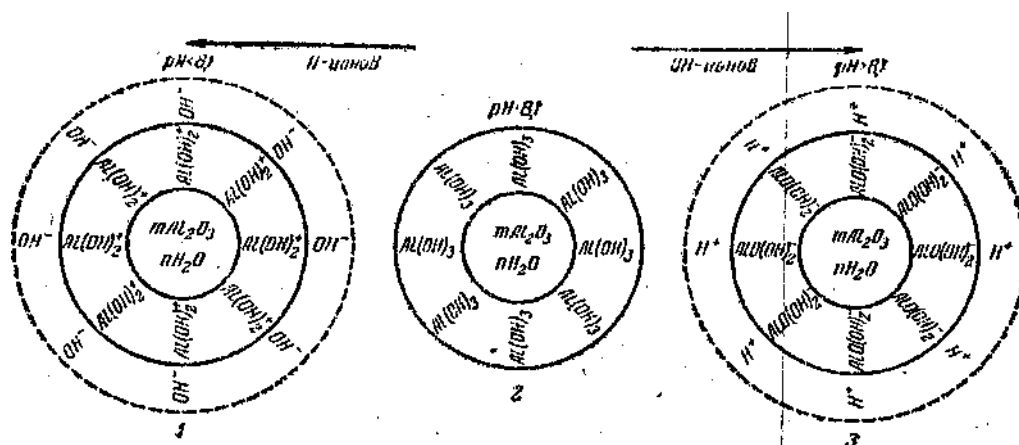


Рис. 11 - Поведение амфотерного коллоида в зависимости от реакции среды: 1 – коллоид электроположителен, содержит обменные анионы; 2 – коллоид электронейтрален; 3 – коллоид электроотрицателен, содержит обменные катионы (по Н. П. Ремезову).

В этих условиях амфолитоид ведет себя как кислота и диссоциация идет по уравнению:



Электронейтральное состояние коллоида, когда в окружающий раствор посылается равное количество катионов и анионов, называется изоэлектрической точкой. Для гидроокиси железа она находится при pH 7,1; для гидроокиси алюминия — при pH 8,1. Вследствие того, что многие почвы имеют чаще всего кислую реакцию, гидроокиси железа и алюминия ведут себя обычно как базойды.

Среди почвенных коллоидов преобладают ацидоиды, играющие огромную роль в явлениях поглощения катионов — кальция, магния, натрия, калия, аммония и др. Однако наличие коллоидов с базойдными свойствами исключительно важно в связи с явлениями поглощения анионов, например фосфат-ионов.

Благодаря электрическим зарядам коллоидные частицы способны взаимодействовать с молекулами дисперсионной среды. В природных условиях почвенные коллоиды могут взаимодействовать с водой, то есть гидратироваться. Молекула воды, приближаясь к заряженной коллоидной частице, изменяет свою электронную оболочку и приобретает форму диполя. У диполей центр тяжести положительного и отрицательного зарядов раздвигается, и хотя молекулы воды остаются нейтральными, у них

возникают два полюса, несущие заряды противоположного знака. Диполи воды у заряженной коллоидной частицы строго ориентированы. Вокруг частицы образуется водная пленка, толщина которой зависит от природы коллоидов и величины их зарядов.

По отношению к растворителю (вода) коллоиды могут быть разделены на гидрофильные и гидрофобные. Гидрофильными называются коллоиды, способные сильно гидратироваться, то есть удерживать многослойные пленки воды. Гидрофобные коллоиды гидратируются слабо. К гидрофильным коллоидам относятся кремнекислота, гуминовые кислоты, фульвокислоты, почвенные белки и др, к гидрофобным — гидроокись железа, минералы группы каолинита и некоторые другие.

Важнейшее свойство почвенных коллоидов — их агрегативная устойчивость-способность сохранять неизменной степень дисперсности. Укрупнению частиц препятствуют гидратация и наличие заряда. В результате взаимодействия с молекулами воды коллоиды сохраняют свою агрегативную устойчивость. Наибольшей устойчивостью отличаются гидрофильные коллоиды, которые способны сохранять неизменной степень дисперсности частиц в течение многих месяцев.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Определение pH потенциометрическим методом

Метод основан на изменении электродвижущей силы (э.д.с), возникающей при опускании в раствор двух электродов: измерительного и сравнения. Потенциал электрода сравнения (хлорсеребряного или каломельного) не зависит от величины pH раствора. Потенциал измерительного электрода (платинового или стеклянного) определяется концентрацией ионов водорода в растворе. При измерении pH между мембраной стеклянного электрода и раствором возникает разность потенциалов, по которой определяется pH.

Перед анализом электроды необходимо вымочить в 0,1 М HCl около 5-7 суток, а перед погружением в суспензию их следует сполоснуть дистиллированной водой. После включения pH-метра в сеть настраивают его по буферным растворам. Порядок работы с прибором изложен в инструкции к нему. При определении pH в минеральных почвах соотношение почва : раствор (дистиллированная вода или 1 М KCl) берется 1:2,5, в торфяных почвах и лесных подстилках - 1:25.

Допустимые расхождения между результатами параллельных определений должны быть в пределах $\pm 0,2$ единиц pH.

Реактивы: 1 М KCl: 74,56 г KCl растворяют в дистиллированной воде мерной колбы емкостью 1 л и доводят водой до метки. Приготовленный раствор должен иметь pH 5,6-6,0. Если pH раствора меньше, прибавляют

по каплям разбавленную щелочь, если больше - прибавляют по каплям соляную кислоту и доводят pH до необходимой величины.

Оборудование: pH-метр, стаканы емкостью 50-100 мл, технические весы.

Определение гидролитической кислотности по Г. Каппену (pH-метрическим способом)

Ход анализа. Навеску 30 г воздушно-сухой минеральной почвы помещают в колбу емкостью 250 мл или бытовую банку, установленную в кассете, прибавляют 75 мл 1 М раствора CH_3COONa и перемешивают содержимое в течение 1 мин. На следующий день ее встряхивают 1 мин и измеряют pH стеклянным электродом с точностью до сотых долей. Электроды при переносе из одной почвенной суспензии в другую не обмывают. Ежедневно в начале работы pH-метр настраивают по трем буферным растворам с pH 4,01; 6,86; 9,18. Во время работы настройку прибора периодически контролируют по буферному раствору с pH 6,86.

Величину гидролитической кислотности в мг-экв. на 100 г почвы определяют по величине pH, используя табл. 16. Допустимые отклонения от среднего значения при повторных определениях в одной лаборатории 12 %, или $\pm 0,05$ pH, в разных - 25 %, или $\pm 0,1$ pH.

Метод пригоден для нейтральных и слабощелочных почв.

Таблица Гидролитическая кислотность в мг-экв. на 100 г почвы

pH	pH (сотые доли)									
	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
6,0	17,30	16,90	16,60	16,20	15,80	15,50	15,20	14,90	14,50	14,20
6,1	13,90	13,60	13,30	13,10	12,80	12,50	12,20	12,00	11,70	11,50
6,2	11,20	11,00	10,80	10,50	10,30	10,10	9,84	9,64	9,44	9,23
6,3	9,04	8,83	8,65	8,45	8,28	8,11	7,92	7,76	7,59	7,41
6,4	7,28	7,11	6,97	6,81	6,69	6,53	6,38	6,25	6,11	5,98
6,5	5,85	5,73	5,61	5,48	5,37	5,25	5,14	5,03	4,92	4,82
6,6	4,71	4,61	4,52	4,42	4,32	4,23	4,14	4,05	3,96	3,82
6,7	3,79	3,71	3,63	3,56	3,48	3,40	3,33	3,26	3,19	3,13
6,8	3,05	2,99	2,92	2,86	2,80	2,74	2,68	2,62	2,57	2,52
6,9	2,46	2,41	2,35	2,31	2,25	2,21	2,16	2,11	2,07	2,02
7,0	1,98	1,94	1,90	1,86	1,82	1,78	1,74	1,70	1,67	1,63
7,1	1,60	1,56	1,53	1,50	1,46	1,43	1,40	1,37	1,34	1,31
7,2	1,28	1,26	1,23	1,20	1,18	1,15	1,13	1,10	1,08	1,06
7,3	1,03	1,01	0,99	0,97	0,95	0,93	0,91	0,89	0,87	0,85
7,4	0,83	0,81	0,80	0,78	0,76	0,75	0,73	0,72	0,70	0,68
7,5	0,67	0,66	0,64	0,63	0,61	0,60	0,59	0,58	0,56	0,55
7,6	0,54	0,53	0,52	0,51	0,49	0,48	0,47	0,46	0,45	0,44
7,7	0,43	0,43	0,42	0,41	0,40	0,39	0,38	0,37	0,37	0,36
7,8	0,35	0,34	0,33	0,33	0,32	0,31	0,31	0,30	0,29	0,29
7,9	0,28	0,28	0,27	0,26	0,26	0,25	0,25	0,24	0,24	0,23
8,0	Менее	0,23								

Определение гидролитической кислотности почв по Г. Каппену (титриметрическим методом)

Ход анализа. Навеску 20 г воздушно-сухой минеральной почвы помещают в колбу емкостью 250 г и приливают 50 мл 1 М CH_3COONa . Колбу закрывают пробкой и взбалтывают на ротаторе в течение одного часа. Суспензию фильтруют через сухой складчатый фильтр (лучше плотный) в колбу емкостью 250 мл. Первые мутные порции фильтрата (15-20 мл) отбрасывают или фильтруют повторно. Пипеткой берут 25 мл прозрачного фильтрата и переносят его в сухой стакан или колбу емкостью 100 мл для титрования, прибавив 2-3 капли 1 %-ного фенолфталеина, титруют 0,1 М NaOH до слабо-розовой окраски, не исчезающей в течение минуты. Записывают количество щелочи, потраченной на титрование. Рассчитывают гидролитическую кислотность в мг-экв. на 100 г почвы по формуле:

$$H = \frac{a \cdot K \cdot 0,1 \cdot 100 \cdot 1,75}{P},$$

где a - количество 0,1 М NaOH , мл;
 K - поправка к титру щелочи;
 0,1 - коэффициент пересчета в мг-экв.;
 100 - коэффициент для пересчета на 100 г почвы;
 1,75 - поправочный коэффициент на неполное вытеснение ионов водорода при однократной обработке почвы раствором CH_3COONa ;
 P - навеска почвы, г.

Результаты анализов записывают по форме, представленной в табл.

Таблица Форма записи анализа в рабочей тетради

№ образца	Горизонт, глубина отбора образца, см	Навеска, г	Кол-во израсходованного 1 М CH_3COONa , мл	Израсходовано 0,1 М NaOH на титрование		H , мг-экв. на 100 г почвы
				мл	K	

Расчет нормы извести на гектар. Норму извести определяют по гидролитической кислотности. 1 мг-экв. водорода соответствует 50 мг CaCO_3 . Для расчета нормы извести на 1 га пашни (вес пахотного слоя почвы для подзолистых почв принимается равным 3 млн. кг) величину гидролитической кислотности умножают на 50 (вес миллиэквивалента CaCO_3 в миллиграммах) и 3 000 000 (вес пахотного горизонта). Полученная величина будет нормой углекислого кальция в миллиграммах на 1 га. Чтобы перевести ее в тонны, необходимо разделить на 1 000 000 000. Окончательно формула выглядит следующим образом:

$$\text{количество CaCO}_3, \text{ т / га} = \frac{H \cdot 50 \cdot 10 \cdot 3\,000\,000}{1\,000\,000\,000} = H \cdot 1,5,$$

где 10 - коэффициент для перевода миллиэквивалентов H в миллиграммы CaCO_3 .

Доза извести должна быть увеличена в зависимости от процентного содержания извести CaCO_3 в известковом удобрении, в котором всегда присутствуют примеси других соединений.

Определение гидролитической кислотности торфа

Ход анализа. Навеску 2 г торфа влажностью 50-60 % помещают в колбу емкостью 500 мл, приливают 300 мл 1 М CH_3COONa и взбалтывают на ротаторе в течение трех минут. На следующий день снова взбалтывают и фильтруют. Первые мутные порции фильтрата (10-15 мл) отбрасывают. Из фильтрата берут 100 мл вытяжки, переносят в колбу емкостью 250 мл, добавляют 2-3 капли 1 %-ного раствора фенолфталеина и титруют 0,1 М NaOH до появления не исчезающей в течение 1 мин розовой окраски. Гидролитическую кислотность выражают в мг-экв. на 100 г абсолютно сухого торфа по формуле:

$$H = \frac{a \cdot K \cdot 15 \cdot 100}{100 - W},$$

где 15 - коэффициент для перевода мл в мг-экв. на 100 г почвы при навеске 2 г и объеме титруемого фильтрата 100 мл;

W - содержание влаги в торфе, %.

Реактивы:

1. 1 М CH_3COONa (рН 8,2-8,3). Навеску 136,06 г трехводной соли уксуснокислого натрия растворяют в дистиллированной воде литровой мерной колбы до метки. Раствор необходимо готовить ежедневно. Для проверки реакции раствора к 10 мл его, помещенным в стакан, прибавляют 1-2 капли 0,1 %-ного раствора фенолфталеина. Если раствор не окрашивается в розовый цвет слабого оттенка, добавляют по каплям 0,1 М NaOH до тех пор, пока не получают эту окраску. Если приготовленный раствор окрашивается в интенсивно-розовый цвет, прибавляют разбавленную уксусную кислоту по каплям до получения слабо-розовой окраски. Зная количество щелочи или кислоты, необходимое на 10 мл раствора, можно рассчитать количество их на весь объем раствора.

2. 1 %-ный раствор фенолфталеина. 1 г соли фенолфталеина растворяют в 100 мл этилового спирта.

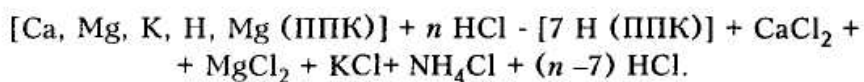
3. 0,1 М NaOH . Навеску 4,001 г NaOH растворяют дистиллированной водой в мерной литровой колбе до метки. Вода не должна содержать CO_2 .

Оборудование: технические весы, ротатор, колбы емкостью 250 и 500

мл, пипетки на 50 мл, стаканы на 500 мл, капельница для индикатора, воронки, фильтровальная бумага, бюретки.

Определение суммы обменных оснований по Каппену – Гильковицу

Катионы кальция, магния, калия, натрия, аммония образуют наиболее распространенные основания в почвах. Они удерживаются почвенными коллоидами, имеющими отрицательный заряд (ацидоидами). Общее количество этих катионов в почве, выраженное в эквивалентах кальция, называют суммой обменных оснований и обозначают буквой *S*. Сумма обменных оснований вместе с гидролитической кислотностью используется для расчета емкости поглощения почвы и степени насыщенности почв основаниями. Метод Каппена – Гильковица непригоден для карбонатных почв. Для вытеснения оснований из почвенного поглощающего комплекса в раствор используется 0,1 М НСl:



Остаток кислоты учитывается путем титрования ее 0,1 М NaOH. Разность между добавленным в почву и оставшимся в растворе количеством НСl дает ту часть ее, которая расходуется на вытеснение и нейтрализацию поглощенных коллоидами оснований.

Ход анализа. 20 г почвы (4-5 г торфа при влажности 50-60 %) перенести в колбу на 500 мл, прилить 100 мл (для торфа 200 мл) 0,1 М НСl. Параллельно проводятся три холостых определения. Концентрация кислоты должна быть не менее 0,09 М и не более 0,11 М. Если в почве содержится более 15 мг-экв. на 100 г почвы поглощенных оснований, то к 20 г почвы приливают 200 мл 0,1 М НСl или уменьшают навеску до 10 г. Колбу с содержимым взбалтывают на ротаторе в течение одного часа. Затем раствор отстаивается 24 ч. По окончании указанного срока содержимое колбы снова взбалтывают и фильтруют через сухой беззольный фильтр. Первые мутные порции отбрасывают или перефильтровывают. Отстоявшуюся прозрачную жидкость можно взять пипеткой.

Для титрования берут 50 мл прозрачного фильтрата, переносят его в колбу емкостью 150-200 мл и кипятят в течение 3-4 мин для удаления CO_2 . Затем прибавляют 3-4 капли 1 %-ного раствора фенолфталеина и титруют горячий раствор вытяжки 0,1 М NaOH до слабо-розовой окраски, не исчезающей в течение минуты.

Сумму обменных оснований находят по следующим формулам: для минеральных почв:

$$S = \frac{(c - a) \cdot K \cdot 0,1 \cdot 100 \cdot 100}{20 \cdot 50} = (c - a) \cdot K;$$

для сырого торфа:

$$S = (c - a) \cdot K \cdot 20;$$

для абсолютно сухого торфа:

$$S = (c - a) \cdot K \cdot 20 \cdot W;$$

где a - количество 0,1 М NaOH для титрования рабочего раствора, мл;
 c - среднее (не менее чем из трех титрований) количество 0,1 М

NaOH для титрования холостого раствора, мл; K - поправка к титру щелочи; 0,1 – нормальность щелочи; 100 – коэффициент для перехода на 100 г почвы; 100 – коэффициент для перехода на весь фильтрат; 20 – навеска, г; 50 – объем титруемой вытяжки, мл; W - поправка на влажность.

Результаты анализа записывают по форме, представленной в табл.

Таблица – Форма записи анализа в рабочей тетради

№ образца	Горизонт, глубина отбора образца, см	Навеска, г	Объем 0,1 М HCl	Объем титруемой вытяжки, мл	Израсходовано 0,1 М CH ₃ COONa на титрование		S, мг-экв. на 100 г почвы
					мл	K	

Результаты параллельных определений могут различаться на 10-15%.

Реактивы. 1. 0,1 М HCl. 8,2 мл концентрированной HCl (удельный вес 1,19) довести в мерной литровой колбе дистиллированной водой до метки.

2. 0,1 М раствор щелочи натрия и калия.

3. 1 %-ный раствор фенолфталеина. Оборудование: технические весы с разновесами, ротатор,

электроплитка, колбы на 250, 500 мл, капельница, пипетки на 50 мл, бюретки на 50 мл, воронки, фильтровальная бумага, стаканы на 500 мл.

Вычисление емкости поглощения почв и степени насыщенности почв основаниями

В поглощающем комплексе кислых почв наряду с основаниями (кальцием, магнием, калием, аммонием) содержатся ионы водорода. Наличие в поглощающем комплексе почвы поглощенных коллоидами ионов водорода вызывает ненасыщенность почв основаниями. Чем больше ионов водорода содержится в поглощающем комплексе, тем кислее почва и тем менее насыщена она основаниями.

Сумма поглощенных оснований S и водородных ионов (H - величина гидролитической кислотности) определяет величину обменной

поглотительной способности почвы, или емкости поглощения почв T , т. е. количество катионов, которое способен удержать для обмена поглощающий комплекс почвы:

$$S + H = T, \text{ мг-экв. на } 100 \text{ г почвы.}$$

Для лабораторий агрохимслужбы рекомендуется определять емкость поглощения почв по методу Бобко - Аскинази - Алешина в модификации ЦИНАО. Метод основан на вытеснении обменных катионов из ППК раствором хлористого бария с рН 6,5. Вытяжку титруют раствором серной кислоты. Анализ карбонатных почв проводят после удаления карбонатов, гипса и других солей.

Зная показатели S и T , можно в относительных величинах (процентах) определить, в какой степени поглощающий комплекс почв насыщен основаниями, т. е. показатель степени насыщенности почв основаниями V , по формуле:

$$V = \frac{S \cdot 100}{T}.$$

Показатель степени насыщенности почв основаниями дает возможность более правильно определять необходимость или очередность известкования, так как не всегда доза извести зависит только от величины гидролитической кислотности. Иногда величины гидролитической кислотности ряда почв одинаковы или близки между собой, но при учете степени насыщенности почв основаниями оказывается, что потребность их в извести различна (табл.).

Таблица Зависимость необходимости известкования почвы от величины H , S , V^2

Образец	S , мг-экв.	H , мг-экв.	V , %
1	20	6	77,3
2	10	6	62,5
3	3	3	50,0

² Если принимать во внимание только величину гидролитической кислотности, то в первую очередь необходимо известковать почву, откуда взяты образцы 1 и 2, причем в дозе в 2 раза большей, чем по образцу 3. При учете же величины степени насыщенности основаниями видно, что в первую очередь необходимо вносить известь в почву, где взят образец 3. При меньшей гидролитической кислотности почва имеет меньшую насыщенность основаниями, т. е. содержит в поглощающем комплексе ионов водорода больше, чем почва с образцами 1 и 2. Исходя из этого, почву, где взят образец 2, необходимо также известковать раньше, чем почву, где взят образец 1. Показатели гидролитической кислотности у них хотя и одинаковые, но отличаются величиной степени насыщенности основаниями, а значит, неодинаковым содержанием ионов водорода в поглощающем комплексе.

Определение емкости катионного обмена

Для анализа используют воздушно-сухую почву, пропущенную через сито с отверстиями диаметром 1-2 мм. Массу навески минеральной некарбонатной почвы 2,50 г (метод Бобко - Аскинази - Алешина в модификации ЦИНАО). Навеску помещают в химические стаканы емкостью 50 мл, заливают 25-30 мл буферного раствора хлористого бария и тщательно перемешивают. Полученную суспензию переносят на бумажный фильтр. Остатки почвы из стаканов тщательно смывают раствором хлористого бария. Затем к навескам почвы на фильтрах приливают порциями по 10-15 мл буферный раствор хлористого бария до полного вытеснения катионов из взятой навески почвы и полного насыщения ее барием, пока pH фильтрата не станет равным исходному значению pH 6,5. Для этой цели расходуют 150-200 мл хлористого бария для легких почв и 200-225 мл - для средне- и тяжелосуглинистых почв.

По окончании насыщения барием пробу почвы на фильтре промывают 1 раз дистиллированной водой и оставляют на воздухе на ночь. Подсушенный фильтр с почвой переносят в технологическую емкость, установленную в кассету или в колбу вместимостью 200 мл, дозируют в нее 100 мл раствора серной кислоты с $(1/2 \text{ H}_2\text{SO}_4) = 0,05$ моль/л, взбалтывают содержимое в течение 5 мин и отфильтровывают. Отбирают дозатором по 20 мл фильтрата в конические колбы или химические стаканы емкостью 100 мл и титруют раствором гидроксида натрия с $(\text{NaOH}) = 0,1$ моль/л до слабо-розовой окраски в присутствии 2 капель фенолфталеина или с помощью блока автоматического титрования до установленного на приборе значения pH 8,3. Затем проводят контрольное титрование 20 мл исходного раствора серной кислоты (0,05 моль/л).

В карбонатных почвах перед анализом удаляют из почвы карбонаты, гипс и легкорастворимые соли. Для этого навеску почвы 2,50 г помещают в химический стакан емкостью 50 мл и обрабатывают раствором HCl , разбавленным 1:250, сливая отстой на фильтр до исчезновения реакции на кальций в фильтрате с индикатором кислотным хромом (желто-синим). Затем к почве приливают 25-30 мл буферного раствора хлористого бария и пробу переносят на фильтр. Далее проводят насыщение почвы барием, как указано для некарбонатных почв.

Обработка результатов. Емкость катионного обмена (ЕКО) в мг-экв. на 100 г почвы вычисляют по формуле:

$$\text{ЕКО} = (V - V_1) \cdot C \cdot V_2 \cdot 100 / V_3 \cdot m,$$

где V - объем раствора гидроксида натрия, израсходованный на контрольное титрование 20 мл серной кислоты, мл;

V_1 - объем раствора гидроксида натрия, израсходованный на титрование 20 мл фильтрата, полученного при вытеснении Ba^{2+} серной кислотой, мл;

C - молярная концентрация раствора гидроксида натрия, моль/л;

V_2 - объем серной кислоты, взятый для вытеснения поглощенного почвой бария, мл;

m - масса навески воздушно-сухой почвы, г;

V_3 - объем фильтрата, взятый для титрования, мл;

100 - коэффициент пересчета на 100 г почвы.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф.СКОРИНЫ

ТЕМА 4 Почвенные удобрения

- 1 Общая информация об удобрениях
 - 2 Основные виды минеральных удобрений
 - 3 Применение удобрений
- Практическая часть

1 Общая информация об удобрениях

Почва является основным источником обеспечения сельскохозяйственных культур питательными веществами. Однако в современных условиях непрерывной интенсификации сельскохозяйственного производства для ежегодного выращивания высоких урожаев с продукцией хорошего качества довольно часто оказывается недостаточным то количество питательных веществ, которое поступает в растения из органического вещества и труднорастворимых минеральных соединений почвы в результате деятельности микроорганизмов и корневой системы растений. Особенно это относится к Нечерноземной зоне, где дерново-подзолистые почвы с низким уровнем окультуренности занимают около 51% площади. Для почв этой зоны характерно, как правило, временное или длительное избыточное увлажнение. Преобладающими неблагоприятными признаками дерново-подзолистых почв являются плохие физические свойства, повышенная кислотность (рН в КС1 меньше 5) и низкое содержание органического вещества - от 1 до 2,5%. Для них характерна также слабая обеспеченность элементами минерального питания для растений - азоты, фосфора и калия, многих микроэлементов; нередко (в разновидностях легкого механического состава) невелико содержание также магния и кальция.

Почвы Нечерноземной зоны, особенно подзолистые, остро нуждаются в известковании и систематическом внесении минеральных удобрений. В связи с этим для сельского хозяйства зоны предусмотрено поставить 120 млн. т минеральных удобрений в стандартных туках. Таким образом, на гектар пашни придется 126 кг питательных веществ.

Удобрения – это неорганические и органические вещества, применяемые в сельском хозяйстве и рыболовстве для повышения урожайности культурных растений и рыбопродуктивности прудов. Они бывают: минеральные (или химические), органические и бактериальные (искусственное внесение микроорганизмов с целью повышения плодородия почв).

Минеральные удобрения, добытые из недр или промышленно полученные химические соединения, содержат основные элементы питания (азот, фосфор, калий) и важные для жизнедеятельности микроэлементы (медь, бор, марганец и др.).

Минеральные удобрения подразделяют на простые (одинарные, односторонние, однокомпонентные) и комплексные. **Простые минеральные удобрения** содержат только одни из главных элементов питания. К ним относятся азотные, фосфорные, калийные удобрения и микроудобрения. **Комплексные удобрения** содержат не менее двух главных питательных элементов. В свою очередь, комплексные минеральные удобрения делят на сложные, сложно-смешанные и смешанные.

Азотные удобрения. Производство азотных удобрений базируется не синтезе аммиака из молекулярного азота и водорода. Азот получают из воздуха, а водород из природного газа, нефтяных и коксовых газов. Азотные удобрения представляют собой белый или желтоватый кристаллический порошок (кроме цианамиды калия и жидких удобрений), хорошо растворимы в воде, не поглощаются или слабо поглощаются почвой. Поэтому азотные удобрения легко вымываются, что ограничивает их применение осенью в качестве основного удобрения. Большинство из них обладает высокой гигроскопичностью и требует особой упаковки и хранение. В таблице №1 приведены данные о составе и свойствах основных азотных удобрений.

По выпуску и использованию в сельском хозяйстве главнейшие из этой группы - аммиачная селитра и мочевина, составляющие около 60% всех азотных удобрений.

Азотные удобрения используют под все сельскохозяйственные культуры.

Таблица. Азотные удобрения

Удобрение	Химический состав	Содержание азота, %	Форма азота	Воздействие на почву	Гигроскопичность
Натриевая селитра	NaNO_3	Не менее 16	Нитратная	Подщелачивает	Слабая
Аммиачная селитра	NH_4NO_3	34	Нитратная и аммонийная	Подкисляет	Очень сильная
Кальциевая селитра	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	Не менее 17,5	Нитратная	Подщелачивает	Очень сильная
Аммиак жидкий	NH_3	82	Аммонийная	Подкисляет	Очень сильная

Фосфорные удобрения. Фосфор - один из важнейших элементов питания растений, так как входит в состав белков. Если азот в почве может пополняться путем фиксации его из воздуха, то фосфаты - только внесением в почву в виде удобрений. Главные источники фосфора - фосфориты, апатиты, вивианит и отходы металлургической

промышленности - томасшлак, фосфатшлак. Все фосфорные удобрения - аморфные вещества, беловато-серого или желтоватого цвета. Основные из них - суперфосфат и фосфоритная мука. Характеристика фосфорных удобрений приведена в таблице.

По степени растворимости эти удобрения подразделяют на следующие группы:

- Растворимые в воде, легкодоступные для растений - суперфосфаты простой и двойной, аммонизированный, обогащенный;
- Труднорастворяемые (не растворимы в воде и почти не растворимые в слабых кислотах), они не могут непосредственно использоваться растениями - это фосфоритная и костная мука.

Фосфоритная мука - тонко размолотый природный фосфорит, соединения которого труднодоступны растениям. Это удобрение применяют на кислых подзолистых, торфяных, серых лесных почвах, а также на деградированных и выщелоченных черноземах и красноземах.

Таблица Основные фосфорные удобрения

Удобрение	Химический состав	Форма фосфорной кислоты	Воздействие на почву
Суперфосфат простой гранулированный	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \times 2\text{CaSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$	Водорастворяемая	Подкисляет
Суперфосфат двойной гранулированный	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \times \text{H}_2\text{O}$	Водорастворяемая	Подкисляет
Преципитат	$\text{CaHPO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$	Растворяемая в лимонно-кислом аммонии	Слабо нейтрализует кислотность

Калийные удобрения. Калий - необходимый элемент для растений. В основном он находится в молодых растущих органах, клеточном соке растений и способствует быстрому накоплению углеводов.

Многие калийные удобрения представляют собой природные калийные соли, используемые в сельском хозяйстве в размолотом виде. Большие разработки их находятся в Соликамске, на Западной Украине, в Туркмении. Открыты залежи калийных руд в Казахстане, Сибири.

Значительное количество хлора во многих калийных удобрениях отрицательно влияет на рост и развитие растений, а содержание натрия (в калийной соли и сильвините) ухудшает физико-химические свойства многих почв, особенно черноземных, каштановых и солонцовых.

На бедных калием легких почвах и торфяниках все без исключения

сельскохозяйственные культуры нуждаются в калийных удобрениях. Недостаток калия в почве восполняется главным образом внесением навоза. Калий не применяют на солоннах и солонцеватых почвах, так как он ухудшает их свойства. Калий легко растворяется в воде и при внесении поглощается коллоидами почвы, поэтому он малоподвижен, однако на легких почвах легко вымывается.

Калийные удобрения подразделяются на три группы:

- Концентрированные, являющиеся продуктами заводской переработки калийных руд - хлористый калий, сернокислый калий, калийно-магниевый концентрат, сульфат калия-магния (калимагнезия);
- Сырые калийные соли, представляющие собой размолотые природные калийные руды - каинит, сильвинит;
- Калийные соли, получаемые путем смешения сырых калийных солей с концентрированными, обычно с хлористым калием - 30-ти и 40%-ные калийные соли.

Как калийные удобрения используют также печную золу и цементную пыль.

Наиболее распространенные калийные удобрения и их свойства приведены в таблице.

Таблица Основные калийные удобрения

Удобрение	Химический состав	Гигроскопичность	Воздействие на почву
Калий хлористый	KCl с NaCl	Малогигроскопичность	Подкисляет
Калий сернокислый (сульфат калия)	K ₂ SO ₄	Негигроскопичен	Подкисляет

Комплексные удобрения. Их подразделяют по составу: двойные (азотно-фосфорные, азотно-калийные, фосфорно-калийные) и тройные (азотно-фосфорно-калийные); по способу производства: сложные, сложно-смешанные (комбинированные) и смешанные удобрения. К сложным удобрениям промышленного производства относят (калиевая селитра, аммофос, диаммофос). Их получают при химическом взаимодействии исходных компонентов, сложно-смешанные (нитрофос, нитрофоска, нитроаммофос, нитроаммофоска, фосфорно-калийные, жидкие комплексные и др.) - в едином технологическом процессе из простых или сложных удобрений. Смешанные удобрения получают путем смешивания простых.

Сложные и сложно-смешанные удобрения характеризуются высокой концентрацией питательных веществ, поэтому применение таких удобрений обеспечивает значительное сокращение расходов хозяйства на

их транспортировку, смешивание, хранение и внесение.

К числу недостатков комплексных удобрений относится то, что пропорции в содержании NPK в них варьируют в нешироких пределах. Поэтому при внесении, например, необходимого количества азота, других питательных элементов вносится меньше или больше, чем требуется.

В небольшом количестве применяют и многофункциональные удобрения, содержащие, кроме основных питательных элементов, микроэлементы и биостимуляторы, оказывающие специфическое влияние на почву и растения.

Органические удобрения - это перегной, торф, навоз, птичий помет (гуано), различные компосты, органические отходы городского хозяйства (сточные воды, осадки сточных вод, городской мусор), сапропель, зеленое удобрение. Они содержат важнейшие элементы питания, в основном в органической форме, и большое количество микроорганизмов. Действие органических удобрений на урожай культур сказывается в течение 3-4 лет и более.

Навоз. Это основное органическое удобрение во всех зонах страны. Он представляет собой смесь твердых и жидких выделений сельскохозяйственных животных с подстилкой и без нее. В навозе содержатся все питательные вещества, необходимые растениям, и поэтому его называют полным удобрением. Качество навоза зависит от вида животных, состава кормов, количества и качества подстилки, способа накопления и условий хранения.

В зависимости от способов содержания скота различают навоз подстилочный (твердый), получаемый при содержании скота на подстилке, и бесподстилочный (полужидкий, жидкий).

Подстилочный навоз содержит около 25% сухого вещества и около 75% воды. В среднем в таком навозе 0,5% азота, 0,25% фосфора, 0,6% калия и 0,35% кальция. В его состав входят также необходимые для растений микроэлементы, в частности 30-50г марганца, 3-5г бора, 3-4г меди, 15-25г цинка, 0,3-0,5 молибдена на 1тн.

Кроме питательных веществ, навоз содержит большое количество микроорганизмов (в 1т 10-15кг живых микробных клеток). При внесении навоза почвенная микрофлора обогащается полезными группами бактерий. Органическое вещество служит энергетическим материалом для почвенных микроорганизмов, поэтому после внесения навоза в почву происходит активизация азотфиксирующих и других микробиологических процессов.

Навоз оказывает многостороннее действие как на почву, так и на растение. Он повышает концентрацию углекислого газа в почвенном и надпочвенном воздухе, снижает кислотность почвы и подвижность A_1 , повышает насыщенность ее основаниями. При систематическом его внесении увеличивается содержание гумуса и общего азота в почве,

улучшается ее структура, лучше поглощается и удерживается влага.

Бесподстилочный (жидкий) навоз накапливается в большом количестве на крупных животноводческих фермах и комплексах при бесподстилочном содержании скота и применении гидравлической системы уборки экскрементов. Такой навоз представляет собой подвижную смесь кала, мочи, остатков корма, воды и газообразных веществ, образующихся в период хранения. По содержанию влаги его разделяют на полужидких (до 90%), жидкий (90-93%).

Количество и качество бесподстилочного навоза зависит от вида и возраста животных, типа кормления, способа содержания скота и технологии накопления навоза.

Большая часть питательных веществ в этом удобрении находится в легкодоступной для растений форме (до 70% азота в аммиачной форме), что обуславливает более сильное его действие по сравнению с подстилочным навозом в год внесения и слабое в последующие годы. Фосфор и калий из подстилочного навоза усваиваются растениями так же, как и из минеральных удобрений.

Птичий помет. Это быстродействующее органическое удобрение. Питательные вещества в нем хорошо усваиваются растениями. Куриный помет содержит 0,7-1,9% азота, 1,5-2% P_2O_5 , 0,8-1% K_2O и 2,4% CaO .

Птичий помет используют в качестве подкормки зерновых и технических культур, растворяют его в 8-10 частях воды и вносят в почву культиваторами-растениепитателя.

Торф. Это удобрение представляет собой смесь полуразложившихся в условиях избыточного увлажнения остатков растений, в основном болотных. Торф может быть низкой степени разложения (до 20%), средней (20-40%) и высокой (более 40%). Широко применяют в сельском хозяйстве как удобрение.

Различают три типа торфа: верховой, низинный и переходный.

Верховой торф образуется на бедных питательными веществами возвышенных местах рельефа (сфагновые мхи, пушицы, шейхцерия болотная, подбел, багульник, осока топяная и др.). Верховой торф характеризуется повышенным количеством органического вещества, высокой кислотностью, большой поглотительной способностью и малым содержанием питательных веществ. Применяют указанный торф главным образом в качестве подстилки и для компостирования.

Низинный торф образуется на богатых питательными веществами пониженных частях рельефа (осоки, гипновые мхи, тростник, хвощ, таволга, сабельники и др.). Низинный торф содержит больше питательных веществ и меньше органического вещества, чем верховой. Наиболее целесообразно его использовать для приготовления различных компостов.

Переходной торф занимает промежуточное положение между

верховым и низинным. По количеству золы (в %) торфа подразделяют на нормальные (до 12) и высокозольные (более 12).

Торфяные компосты. Торф широко применяют для приготовления компостов. При компостировании с навозом торф быстрее разлагается и полнее используется растениями. Хорошо компостируется торф (верховой или переходной) с известью. Хорошие результаты получают при добавлении к торфу 20 кг фосфоритной муки на 1 тн. Торфофосфоритные компосты особенно эффективны на супесчаных почвах, а торфоизвестковые - на кислых.

Кроме этого торф используют на полях орошения, где его компостируют с осадком сточных вод. Широко применяют также торфофекальные компосты. Эти компосты считаются сильнодействующими.

Осадки сточных вод. Их получают при очистке сточных вод городов на очистных сооружениях. Влажность свежего осадка составляет около 97%. Для снижения влажности до 80% они проходят этап естественной сушки на иловых площадках и механического обезвоживания на вакуум-фильтрах с применением реагентов (хлорное железо и известь), а для снижения влажности до 25-30% - проходят термическую сушку в барабанных печах.

Осадки с иловых площадок можно использовать под все культуры, но наиболее целесообразно их применение под овощные и силосные культуры, сахарную свеклу. Осадки после термической сушки, содержащие больше извести и железа, желательнее вносить под отзывчивые на известь культуры.

Сапропель(пресноводный ил). Он представляет собой отложившуюся в пресноводных водоемах смесь земли с полуразложившимися растительными и животными остатками. Содержит органические вещества (до 15-30% и более), азот, фосфор, калий, известь, микроэлементы, некоторые витамины, антибиотики, биостимуляторы.

Наибольшее количество питательных веществ наблюдается в иле водоемов, находящихся около населенных пунктов.

Сапропели применяют как в чистом виде, так и в виде компостов с навозом, фекалиями и навозной жижей.

Зеленое удобрение. Оно представляет собой зеленую массу растений-сидератов, запахиваемую в почву в целях обогащения ее питательными веществами, главным образом азотом, улучшения водного, воздушного и теплового режимов. Наибольшее значение зеленое удобрение имеет на малоплодородных дерново-подзолистых, песчаных, суглинистых и супесчаных почвах, а также на орошаемых землях и во влажных районах Закавказья.

Важнейшее условие повышения эффективности зеленого удобрения - это правильное сочетание его с другими органическими и минеральными

удобрениями и химической мелиорацией почв. Такой способ удобрения широко применяется, так как он дешев (часто не требует транспортных средств), и по химическому составу зеленое удобрение близко к навозу.

Бактериальные удобрения. Препараты, содержащие полезные для растений бактерии, относятся к бактериальным удобрениям. Они способны улучшать питание сельскохозяйственных культур и не содержат питательных веществ.

2 Основные виды минеральных удобрений

Минеральные удобрения – источник различных питательных элементов для растений и свойств почвы, в первую очередь азота, фосфора и калия, а затем кальция, магния, серы, железа. Все эти элементы относятся к группе макроэлементов („Макрос” по-гречески – большой), так как они поглощаются растениями в значительных количествах. Кроме того, растениям необходимы другие элементы, хотя и в очень небольших количествах. Их называют микроэлементами („Микрос” по-гречески – маленький). К микроэлементам относятся марганец, бор, медь, цинк, молибден, иод, кобальт и некоторые другие. Все элементы в равной степени необходимы растениям. При полном отсутствии любого элемента в почве растение не может расти и развиваться нормально. Все минеральные элементы участвуют в сложных преобразованиях органических веществ, образующихся в процессе фотосинтеза. Растения для образования своих органов – стеблей, листьев, цветков, плодов, клубней – используют минеральные питательные элементы в разных соотношениях.

В почвах обычно имеются все необходимые растению питательные элементы. Но часто отдельных элементов бывает недостаточно для удовлетворительного роста растений. На песчаных почвах растения нередко испытывают недостаток магния, на торфяных почвах – молибдена, на черноземах – марганца и т. д. Недостаток элементов восполняется при помощи удобрений. Почвенную кислотность устраняют при помощи углекислых солей кальция и магния.

Применение минеральных удобрений – один из основных приемов интенсивного земледелия. С помощью удобрений можно резко повысить урожаи любых культур на уже освоенных площадях без дополнительных затрат на обработку новых земель. При помощи минеральных удобрений можно использовать даже самые бедные, так называемые бросовые земли. Всем живым организмам необходимы вещества, регулирующие скорость биохимических реакций. Микроэлементы и входят в состав таких веществ, например ферментов. Действие их многообразно. Например, железо, марганец и цинк входят в состав некоторых ферментов – катализаторов окислительно-восстановительных реакций. Железо способствует

образованию хлорофилла. При внесении ничтожных количеств молибдена урожайность бобовых резко возрастает. Соединения молибдена повышают каталитическую активность ферментов, участвующих в реакциях связывания атмосферного азота бактериями.

Вырабатываемые химической промышленностью минеральные удобрения подразделяются на:

- а) фосфорные (главным образом простой и двойной суперфосфаты и преципитат);
- б) азотные (сульфат аммония, аммиачная селитра, кальциевая и натриевая селитры);
- в) калийные (хлористый калий и смешанные калийные соли);
- г) борные, магниевые и марганцевые (соединения и соли, содержащие эти элементы).

Фосфорные удобрения. Природные соединения фосфора – фосфориты и апатиты – содержат фосфор в виде нерастворимого третичного фосфата $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, который плохо усваивается растениями. Для получения легко усваиваемых удобрений фосфориты подвергают химической переработке, заключающейся в превращении нормальной соли в кислую. Таким путем готовят наиболее важные фосфорные удобрения – суперфосфат, двойной суперфосфат и преципитат.

Минеральные удобрения – источник различных питательных элементов для растений и свойств почвы, в первую очередь азота, фосфора и калия, а затем кальция, магния, серы, железа.

Фосфор входит в состав многих органических соединений в растениях. Фосфорное питание регулирует рост и развитие растений.

Сырьем для производства фосфорных удобрений, фосфора и всех фосфорных соединений служат апатитовые и фосфоритовые руды. Состав апатитов чаще всего выражается формулой $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ (фторапатит). Фосфориты отличаются от фторапатитов тем, что в них вместо ионов F^- содержатся ионы OH^- или CO_3^{2-} . Фосфориты обычно содержат больше примесей, чем фторапатит.

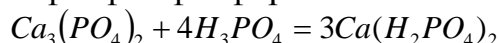
В дореволюционной России были известны и разрабатывались лишь маломощные месторождения фосфоритов низкого качества. Поэтому событием огромного народнохозяйственного значения было открытие в 20-х годах месторождения апатита на Кольском полуострове в Хибинах. Здесь построена крупная обогатительная фабрика, которая разделяет добываемую горную породу на концентрат с высоким содержанием фосфора и примеси – «нефелиновые хвосты», используемые для производства алюминия, соды, поташа и цемента.

Мощные месторождения фосфоритов открыты в Южном Казахстане, в горах Каратау.

Самое дешевое фосфорное удобрение – это тонко измельченный фосфорит – фосфоритная мука. Фосфор содержится в ней в виде

нерастворимого в воде фосфата кальция $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Поэтому фосфориты усваиваются не всеми растениями и не на всех почвах. Основную массу добываемых фосфорных руд перерабатывают химическими методами в вещества, доступные всем растениям на любой почве. Это водорастворимые фосфаты кальция:

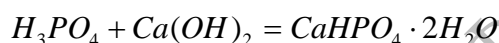
Двойной суперфосфат (цвет и внешний вид сходен с простым суперфосфатом – серый мелкозернистый порошок). Получается при действии на природный фосфат фосфорной кислоты:



По сравнению с простым суперфосфатом он не содержит CaSO_4 и является значительно концентрированным удобрением (содержит до 50% P_2O_5).

Преципитат – содержит 35-40% P_2O_5 .

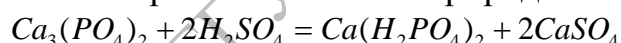
Получается при нейтрализации фосфорной кислоты раствором гидроксида кальция:



Применяется на кислых почвах.

Аммофос – сложное удобрение, содержащее азот (до 15% N) и фосфор (до 58% P_2O_5) в виде $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ и $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$. Получается при нейтрализации фосфорной кислоты аммиаком.

Раньше в течение более 100 лет в качестве фосфорного удобрения широко использовали так называемый *простой суперфосфат*, который образуется при действии серной кислоты на природный фосфат кальция:



В этом случае в реакцию с фосфатом кальция вступает относительно меньше серной кислоты, чем при получении из него фосфорной кислоты.

Получается смесь дигидрофосфата кальция и сульфата кальция. Это удобрение с массовой долей P_2O_5 не выше 20%. Сейчас простой суперфосфат производится в сравнительно небольших масштабах на ранее построенных заводах.

Примеры фосфорных удобрений даны в табл.

Таблица Удобрения, содержащие фосфор

Название удобрения	Химический состав
Простые	
Суперфосфат двойной	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$
Суперфосфат простой	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + 2\text{CaSO}_4$
Фосфоритная мука	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$
Костяная мука	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$
Преципитат	$\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Шлак мартеновский печей	Сложный состав. Содержит P, Ca, Si, C, Fe и др. элементы
Комплексные	

Аммофос	$(NH_4)_2HPO_4 + NH_4H_2PO_4$
Аммофоска	$(NH_4)_2HPO_4 + NH_4H_2PO_4 + KCl$
Нитроаммофос	$NH_4H_2PO_4 + NH_4NO_3$

Азотные удобрения. Аммиачные и аммонийные удобрения: жидкий NH_3 , аммиачная вода, сульфаты аммония и аммония-натрия и др. Превращается в почве в малоподвижную форму, которая под действием присутствующих в почве нитрифицирующих бактерий постепенно переходит в более подвижную форму, хорошо усваиваемую растениями. Эти удобрения пригодны для всех сельскохозяйственных культур и применяются на кислых и некислых почвах при их известковании.

Нитратные удобрения: натриевая и кальциевая селитры. Длительное применение нитратных удобрений может иногда приводить к подщелачиванию почвы. Их используют на всех почвах для предпосевного внесения и подкормки всех видов растений в период вегетации.

Аммонийно-нитратные удобрения: аммиачная селитра и аммиакаты на ее основе, известково-аммиачная селитра-смесь $CaCO_3$ и NH_4NO_3 . Эти удобрения можно использовать в различных климатических зонах под разные почвы и все виды культур.

Амидные удобрения: различают хорошо растворимые и плохо растворимые. К хорошо растворимым относится карбамид, к плохо растворимым – уреформ и изобутиленкарбамид, получаемый конденсацией изомасляного альдегида с карбамидом. Области применения и масштабы производства медленно действующих удобрений из-за их высокой стоимости пока ограничены.

Аммонийно-нитратно-амидные удобрения: концентрированные водные растворы карбамида и нитрата аммония и растворы их в аммиачной воде. Эффективны как для внесения в почву, так и для подкормки растений.

Калиевые удобрения. Калиевые удобрения – минеральные вещества, содержащие калий; применяются в качестве источника калийного питания с/х растений для повышения их урожайности.

В дореволюционной России калийные удобрения не производились. В СССР за годы довоенных пятилеток на базе открытых советскими учёными месторождений калия создана мощная калийная промышленность, обеспечивающая возрастающую потребность социалистического с/х в калийных удобрениях. В качестве калийных удобрений используются: сырые калийные соли (сильвинит, каинит), представляющие собой раздроблённые и размолотые соли; концентрированные удобрения (хлористый калий, сернокислый калий) получаемые химической переработкой сырых калийных солей; смешанные (30%-ные и 40%-ные калийные соли), представляющие механическую

смесь хлористого калия сильвинитом или каинитом; сульфат калия-магния, или кали-магнезия; древесная торфяная и другая зола.

Сильвинит ($m\text{KCL} - n\text{NaCL}$) содержат в среднем 14% K_2O (принято пересчитывать содержание калия в калийных удобрениях на окись калия K_2O даже в том случае, если удобрение не включает в себе кислорода); обладает значительной гигроскопичностью, при хранении слеживается.

Каинит употребляемый на удобрение, не всегда отвечает формуле минерала каинита $\text{MgSO}_4 \cdot \text{KCL} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, а может представлять собой или соль, близкую по составу к сильвиниту, или механическую смесь KCL , MgSO_4 , NaCL , каинита, карналлита и других солей. В каините из прикарпатских месторождений СССР – около 10% K_2O , 20% Na_2O , 3-4% MgO , 40% CL .

Сырые калийные соли составляют небольшую долю в общей продукции калийных удобрений. Общие недостатки сырых калийных солей: низкий процент калия и большое количество балластных компонентов, не всегда безвредных для растений. Зерновые злаки (пшеница, рожь, овёс, ячмень), сахарная свёкла и другие корнеплоды не чувствительны к избытку хлора в сырых калийных солях и хорошо их используют. Особенно эффективно внесение сильвинита под свёклу, которая положительно реагирует на примесь натрия. Для многих культур (табак, виноград, чай, citrusовые, плодово-ягодные культуры, картофель, лён, гречиха) избыток хлора вреден: он снижает урожай и ухудшает его качество. Поэтому под указанные культуры сырые калийные соли не применяют.

Хлористый калий KCL – основной вид калийных удобрений в России. Получается из сильвинита, который для этого растворяют в горячей воде до состояния насыщения и затем охлаждают раствор; при этом осаждаются главным образом KCL , а NaCL остаётся в растворе. Химически чистый хлористый калий содержит 63,2% K_2O , а сорта, идущие на удобрение, – от 50 до 60% K_2O . Это белый мелкокристаллический продукт, слабо гигроскопичный, при хранении слеживается. Вносится почти под все культуры, в том числе и под некоторые с/х растения, чувствительные к хлору (в хлористом калии на единицу действующего вещества приходится в пять раз меньше хлора, чем в сильвините или в каините).

Сернокислый калий, сульфат калия K_2SO_4 получают обменным разложением KCL и MgSO_4 , а также разложением KCL серной кислотой. Чистая соль содержит 54,1% K_2O . В технических сортах соли, идущих на удобрение, 48 – 52% K_2O . Это мелкокристаллический порошок сероватого цвета, негигроскопичен и не слеживается. Сернокислый калий – хорошее калийное удобрение для всех культур и лучшее для растений,

чувствительных к хлору. Внесение сульфата калия под табак, виноград, чай, цитрусовые, плодово-ягодные даёт большой прирост урожая и улучшает его качество.

Смешанные 30%-ые и 40%-ые калийные соли по своей удобрительной ценности занимают промежуточное положение между хлористым калием и сильвинитом. Особенно эффективны при внесении под сахарную и кормовую свёклу. Все применяемые на удобрения калийные соли растворимы в воде. В почве калий, взаимодействуя с почвенным поглощающим комплексом, переходит в поглощенную, обменную форму. Доступность калия для растений при этом не теряется, но способность к передвижению в почве (а следовательно, к вымыванию из неё) крайне ограничена. Поэтому калийные удобрения целесообразно заделывать на глубину пахотного слоя. Содержащие хлор сырые калийные соли вносят с осени под зяблевую вспашку. При этом значительная часть хлора вымывается из верхних слоёв почвы, а калий остаётся в пахотном слое. В России потребность в калийных удобрениях проявляется на большей части почв, но в них особенно нуждаются с\х культуры при возделывании на деградированных и выщелоченных чернозёмах и на дерново-подзолистых почвах, на лёгких песчаных и супесчаных почвах, на трофянисто-болотных и луговых. Для большинства культур калийные удобрения вносят из расчёта около 45 – 60 кг. K_2O на 1га. Для культур повышенной потребностью в калии (свёкла, картофель, табак и др.) дозы калийных удобрений увеличивают до 90 – 100кг. K_2O на 1га. Отличным калийным удобрением является зола, особенно на кислых почвах, где она, кроме того, нейтрализует вредную почвенную кислотность. Навоз также служит источником калия для растений т. к. содержит в среднем около 0,6% K_2O .

Сульфат калия можно получить взаимодействием хлорида калия сульфата магния:



Борные, магниевые и марганцевые удобрения. Как было сказано в начале доклада, некоторые почвы бедны отдельными микроэлементами. В этих случаях вносят микроудобрения. Бор вносят в почву в виде борамагниевого удобрения, содержащего около 6% борной кислоты. Нашей промышленностью выпускается двойной борный суперфосфат, содержащий 36% фосфорной кислоты и около 7% борной кислоты.

Медь вносят в виде пиритных огарков (отходов, получаемых при производстве серной кислоты), которые содержат только около 0,5% меди. Хорошим источником меди служит медный купорос.

Марганцевыми удобрениями служат марганцевые шлаки,

содержащие до 15% марганца, а также сернокислый марганец. Но наибольшее распространение получил марганизированный суперфосфат, содержащий около 2-3% марганца.

Микроудобрения применяют также в виде некорневых подкормок, опрыскивая растения соответствующим раствором или замачивая в нем семена перед посевом.

3 Применение удобрений

Применение минеральных удобрений – один из основных приемов интенсивного земледелия. При высоком уровне агротехники и применении удобрений можно управлять урожайностью, повысить ее в несколько раз – такую задачу решают наши химики и сельскохозяйственные работники в настоящее время, с тем, чтобы в достатке обеспечить потребности страны в продуктах питания и промышленности в сырье.

До революции производства минеральных удобрений в России практически не было; вся продукция нескольких мелких заводов составляла в 1913 г. только 89 тыс. т. Строительство новых заводов началось лишь в 1925–1926 гг. и приобрело в дальнейшем большой размах.

Особенно выросло производство минеральных удобрений после окончания второй мировой войны. Если в 1940 г. было произведено всех минеральных удобрений только 3,2 млн. т., то в 1954 г. выработка удобрений составила почти 8 млн. т., а через 10 лет – уже 25,6 млн. т.

Растения избирательно извлекают необходимые элементы из водного почвенного раствора в виде ионов (катионов NH_4 , K, Mg, Ca, H, анионов NO_3 , H_2PO_4 , SO_4 и другие). По мере извлечения питательных веществ растениями почвенный раствор должен пополняться ими. Как это происходит? Азот почвы почти целиком входит в недоступные растениям органические соединения. Основная масса фосфора входит в состав нерастворимых в воде неорганических соединений (фосфаты алюминия, железа и другие) и органических соединений. В почвах содержится много соединений серы, калия, магния, микроэлементов. Но лишь малая часть их находится в доступных усвоению растениями формах.

Под влиянием разнообразных химических реакций и при участии микроорганизмов происходит постепенный переход питательных элементов из неусвояемого состояния в ионное. Но эти ионы были бы вымыты водой, если бы они не удерживались почвенными ионитами. Удерживаемые ионитами ионы составляют основную массу содержащихся в почве питательных материалов в доступной для растений форме. Между ионитами и растворенными веществами протекают обменные реакции, в результате органических веществ, и прежде всего углеводов. Значит, растению прежде всего необходимы фосфорные удобрения. Содержание питательных веществ в удобрении выражают в процентах P_2O_5 , N и K_2O .

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Распознавание и свойства удобрений

Большое сходство некоторых из минеральных удобрений по внешнему виду, загрязнение их при транспортировке и хранении часто затрудняет распознавание в производственных условиях. В связи с этим существует необходимость быстрого качественного аналитического определения их в лабораторных условиях.

ПРИБОРЫ И РЕАКТИВЫ:

1. Хлорид бария 2-5%-ый раствор.
2. Азотнокислое серебро, 1-2%-ый раствор.
3. Щелочь, 8-10%-ый раствор.
4. Соляная кислота, 1%-ый раствор.
5. Оксалат аммония (щавелевокислый аммоний), насыщенный раствор.
6. Красная и синяя лакмусовая бумага.
7. Капельницы.
8. Электроплитка.
9. Древесный уголь.

Основные качественные реакции при установлении свойств удобрений и техника их выполнения.

Цвет удобрения устанавливают визуально (возможно его изменение при транспортировке и хранении).

Влажность. В процессе хранения удобрения остаются сухими и сыпучими или впитывают влагу в последствии высокой гигроскопичности.

Строение. Удобрения подразделяются на порошкообразные и кристаллические (кристаллы могут быть крупными и мелкими).

Растворимость в воде. Минеральные удобрения делятся на две группы – хорошо растворимые в воде и труднорастворимые. Для определения растворимости в пробирку помещают 1 г удобрения, приливают 10 мл дист. воды, встряхивают и наблюдают.

Реакция со щёлочью. Необходима для установления наличия аммиака в удобрении. К 2 мл водного раствора удобрения добавляют 1 мл щелочи и смесь осторожно подогревают на спиртовке. Присутствие аммиака определяется по посинению красной лакмусовой бумажки, помещённой в отверстие пробирки или по запаху.

Реакция с хлористым барием показывает присутствие в удобрении сульфат – иона (SO_4^{2-}). К 2 мл раствора удобрения добавляют 2-3 капли раствора BaCl_2 . Если в растворе находится сульфат-ион, то выпадает осадок BaSO_4 . Чтобы доказать, что это действительно сульфат бария,

прибавляют в ту же пробирку 1 мл слабой соляной или уксусной кислоты. Осадок сульфата бария не растворится.

Реакция с азотнокислым серебром. К 2 мл раствора удобрения прибавляют 2-3 капли раствора AgNO_3 и содержимое пробирки встряхивают. Появление белого творожистого осадка хлористого серебра (AgCl) указывает на присутствие в удобрении хлора. Если образуется жёлтый осадок, удобрение содержит фосфор (фосфорнокислое серебро (Ag_3PO_4), возникающее в процессе реакции, окрашено в жёлтый цвет). Азотнокислое серебро даёт белый осадок и с сульфат – ионом, однако осадка образуется меньше, чем при реакции SO_4^{2-} с BaCl_2 .

Реакция с щавелевокислым аммонием устанавливает присутствие в удобрении кальция. К 2 мл раствора удобрения добавляют 2-3 капли щавелевокислого аммония $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$. Если в удобрении содержится кальций, то выпадает осадок щавелевокислого кальция CaC_2O_4 .

Поведение на раскалённом угле. На раскалённой ложечке или на шпатель уголь насыпает 0,2-0,3 г удобрения (с кончика скальпеля) и наблюдает за быстротой сгорания, цветом пламени, запахом..

Реакция с кислотой обнаруживает карбонат – ион. В пробирку помещают 1 г сухого удобрения и осторожно приливают из капельницы несколько капель уксусной или соляной кислоты. Вскипание содержимого пробирки (выделение пузырьков углекислого газа) указывает на присутствие в удобрении карбонатов.

Реакция хлористого бария и азотнокислого серебра с труднорастворимым удобрением выполняется прибавлением реактива к прозрачной жидкости над нерастворившимся удобрением.

Ход работы:

Распознавание минеральных удобрений.

1. Удобрение в воде полностью или почти полностью растворяется.
 - Удобрение в воде не растворяется или растворяется незначительно
2. Раствор удобрения с раствором щелочи при подогревании выделяет аммиак
 - Раствор удобрения не выделяет аммиак
3. Раствор удобрения с раствором азотнокислого серебра образует осадок, нерастворимый в слабой азотной кислоте
 - Раствор удобрения осадка не образует, хотя может дать муть
4. Цвет осадка белый. Сухое удобрение белого или желтоватого цвета - хлористый аммоний
 - Цвет осадка жёлтый - аммофос и диаммофос
5. Раствор удобрения с раствором хлористого бария образует белый осадок. Сухое удобрение на раскалённом угле пахнет аммиаком, не плавится и вспышки угля не даёт сульфат аммония

- Раствор удобрения с раствором хлористого бария осадка не образует (хотя и может дать муть), не раскалённом угле быстро плавится, кипит и даёт запах аммиака - аммиачная селитра
- 6. Раствор удобрения с раствором азотнокислого серебра образует белый творожистый осадок, нерастворимый в слабой азотной кислоте
 - Раствор удобрения осадка не образует, но может дать муть
- 7. Удобрение сухое белого цвета, при загрязнении сероватое - хлористый калий
 - Удобрение, напоминающее неочищенную поваренную соль; кристаллы грязноватые, частично розоватые - калийные соли
- 8. Раствор удобрения с раствором щавелевокислого аммония образуют белый осадок - известковая селитра
 - Раствор удобрения осадка не образует, но может дать муть
- 9. Сухое удобрение на раскалённом угле выделяет аммиак - мочевина
 - сухое удобрение при подогревании аммиаком не выделяет
- 10. Раствор удобрения с раствором хлористого бария образует белый осадок (нерастворимый в уксусной и слабой кислоте) - сернокислый калий
 - Раствор удобрения осадка не образует
- 11. Кристаллы удобрения мелкие, сухие; на раскалённом угле вспыхивают и с шипением сгорают, цвет пламени фиолетовый - калийная селитра
 - Кристаллы удобрения влажные; при сгорании на раскалённом угле цвет пламени жёлтый - натриевая селитра
- 12. При добавлении к сухому удобрению (в пробирке) соляной или уксусной кислоты содержимое вскипает и пенится
 - Содержимое пробирки не вскипает и не пенится или вскипает и пенится незначительно
- 13. Удобрение имеет вид белого или грязноватого порошка - известняк или мергель
- 14. Цвет сухого удобрения белый
 - Удобрение иного цвета
- 15. При приливании к удобрению раствора азотнокислого серебра верхний слой осадка желтеет - преципитат
 - Верхний слой осадка не желтеет - гипс
- 16. Удобрение светло-серого или серого цвета, порошковидное или гранулированное, имеет кислую реакцию (проба на лакмус) - суперфосфат
 - Удобрение в виде серо-коричневого землистого порошка - фосфоритная мука + примеси других веществ + доломитовая мука

Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»
246019, г. Гомель, ул. Советская, 104

Отпечатано с оригинала-макета
учреждения образования «Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»
Лицензия ЛП № 02330/0056611 от 16.02.04.
246019, г. Гомель, ул. Советская, 104

Учебное издание

**ВОРОБЬЕВА Елена Валерьевна
МАКАРЕНКО Татьяна Викторовна**

Большой практикум: почвы

Практическое пособие по спецкурсу

В АВТОРСКОЙ РЕДАКЦИИ

Лицензия ЛВ№02330/0133208 от 30.04.04.

Подписано в печать _____. Формат 60х84 1/16. Бумага писчая №1.

Печать на ризографе. Гарнитура «Таимс». Уч.-изд. л. _____. Уч.-п.л. _____.

Тираж 50. Заказ № ____.

Учреждение образования

«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»

246019, г. Гомель, ул. Советская, 104

Отпечатано с оригинала-макета

учреждения образования «Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»

Лицензия ЛП № 02330/0056611 от 16.02.04.

246019, г. Гомель, ул. Советская, 104